



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 733

DATA: 07/10/2013

A P P U N T I

STUDENTE: Insana

MATERIA: Infrastrutture Viarie

Prof. Bassani

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.

Politecnico di Torino



a.a 2012-2013

I facoltà di ingegneria
corso di laurea in Ingegneria Civile

Corso di Infrastrutture viarie

Prof. Marco Bassani

a cura di Alessandra Insana

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezioni

- **Docente titolare del corso:**
prof. Marco Bassani (marco.bassani@polito.it)
- **65 ore:**
 - Martedì, 11.30 – 13.00 Aula **7S** (prime due settimane)
 - Mercoledì, 14.30 – 17.30 Aula **1B**
 - Giovedì, 10.00 – 13.00 Aula **7S** (di norma solo la prima ora e mezza)
- Proiezione di slide, copia pdf sul portale della didattica, lavagna luminosa per dimostrazioni

INFRASTRUTTURE VIARIE

Introduzione

3

Esercitazioni

- **Docenti:**
 - ing. Pier Paolo Riviera (pierpaolo.riviera@polito.it)
 - ing. Giuseppe Chiappinelli (giuseppe.chiappinelli@polito.it)
 - Ing. Davide Dalmazzo (davide.dalmazzo@polito.it)
- **18 ore a squadre riunite (ing. Riviera):** *es. analitici*
 - Giovedì, 11.30 – 13.00 Aula **7S**
 - Presentazione di esercizi svolti, lavoro individuale
- **18 ore a squadre separate:** *porta calcolatrice perché es. numerici*
 - Martedì, 11.30 – 13.00 Aule **7S (sq.A), 23 (sq.B), 25 (sq.C)**
 - Assegnazione di esercizi, supervisione in aula, lavoro individuale
- Raccolta degli esercizi in un quaderno individuale *sia es. reali sia es. numerici*
- Testi disponibili sul portale della didattica

INFRASTRUTTURE VIARIE

Introduzione

4

INFRASTRUTTURE VIARIE

Frequenza ed esami di profitto

- Frequenza obbligatoria (> 80% di lezioni ed esercitazioni)
- Iscrizione obbligatoria all'esame di profitto attraverso il portale della didattica
- Modalità di svolgimento dell'esame:
 - compito scritto con tre domande (teoria e esercizi) *2h ammissione con 15/30 almeno*
 - orale della durata di 15-30 minuti, temi di discussione:
 - aspetti teorici
 - applicazioni progettuali con esercizi
- Applicazione "rigida" delle regole di ateneo per l'ammissione ed il superamento della prova

Bibliografia essenziale di riferimento

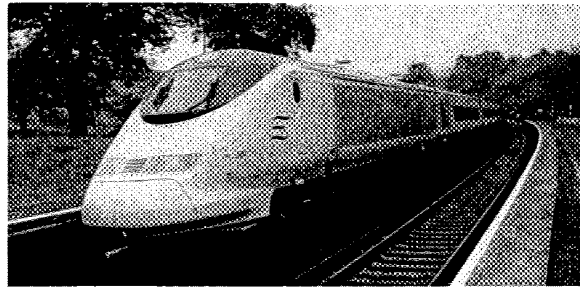
- Esposito T., Mauro R., *La Geometria Stradale*, vol. I e II, Hevelius Ed.
- Giannini F., Ferrari P., *Ingegneria Stradale vol. 2, Corpo stradale e Pavimentazioni*, ISEDI Ed.
- Profillidis V.A., *Railway Management and Engineering*, Ashgate ed.
- Esveld C., *Modern Railway Track*, TU Delft ed.
- Horonjeff, *Airport Engineering*, McGrawHill

INFRASTRUTTURE VIARIE

Infrastrutture viarie

Le infrastrutture costituiscono il supporto fisico di un sistema di trasporto. Si distinguono due tipologie di infrastrutture:

- **infrastrutture a circolazione libera:** strada, marciapiede, pista ciclabile, pista di volo, via di rullaggio; *traiettoria imprecisata in modo libero dal guidatore / pista*
- **infrastrutture a via guidata:** ferrovia, tramvia, ferrovie speciali a levitazione magnetica. *traiettoria predefinita dalla stessa infrastruttura*

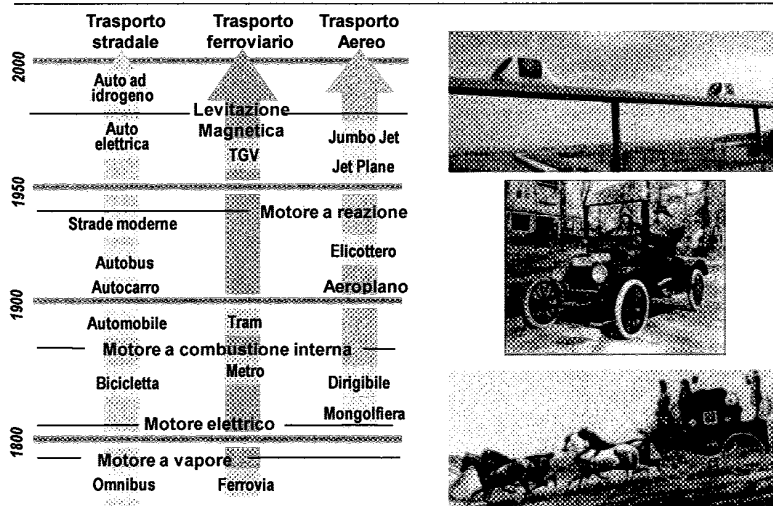


INFRASTRUTTURE VIARIE

Introduzione

13

Evoluzione delle tecnologie di trasporto



INFRASTRUTTURE VIARIE

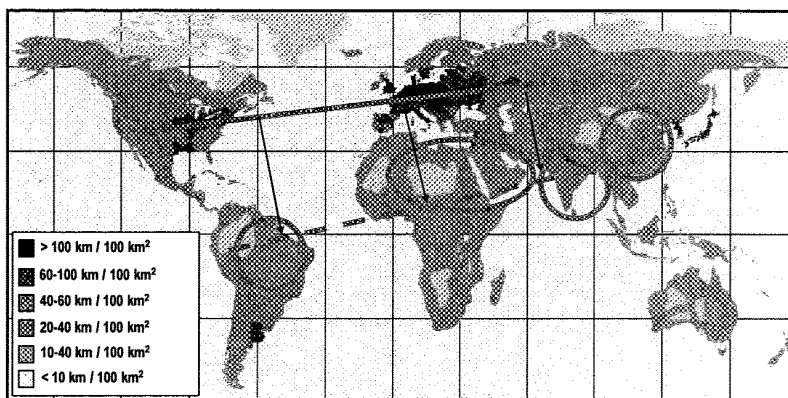
Introduzione

14

evoluzione infrastruttura in relazione all'entità che su essa si muoveva

INFRASTRUTTURE VIARIE

Densità di infrastrutture sul pianeta



questo asse ci sta spostando verso sud

INFRASTRUTTURE VIARIE

Introduzione

17

correre la lingua!

ICAR/04 – STRADE, FERROVIE, AEROPORTI

Declaratoria Ministeriale (2001):

“I contenuti scientifico-disciplinari riguardano le teorie e le tecniche rivolte alla concezione, progettazione, costruzione, adeguamento, gestione, manutenzione e controllo delle infrastrutture per i trasporti (stradali e ferroviarie incluse quelle in sotterraneo, aeroportuali e speciali), intese come un insieme integrato. ...”

INFRASTRUTTURE VIARIE

Introduzione

18

INFRASTRUTTURE VIARIE

25/26 giugno
16/17 luglio
17/18 settembre



Strada

→ **"Area ad uso pubblico destinata alla circolazione dei pedoni, dei veicoli e degli animali"**

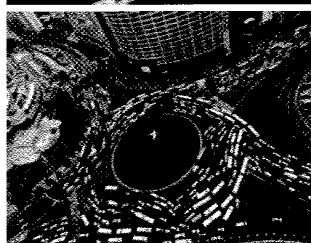
*Non sono ammesse a circolazione su strada
D.A. Strada - Spec. che regolano
(pedoni, animali e no autostrada)*

Riferimenti:

Codice della Strada (C.d.S, D.Legge n.121/2002) emanato nel '98 in vigore nel '99

Norme tecniche

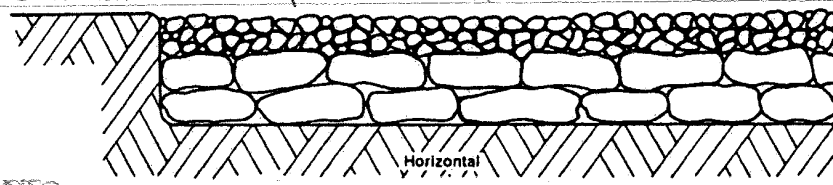
Testi di Ingegneria Stradale



stabilità.

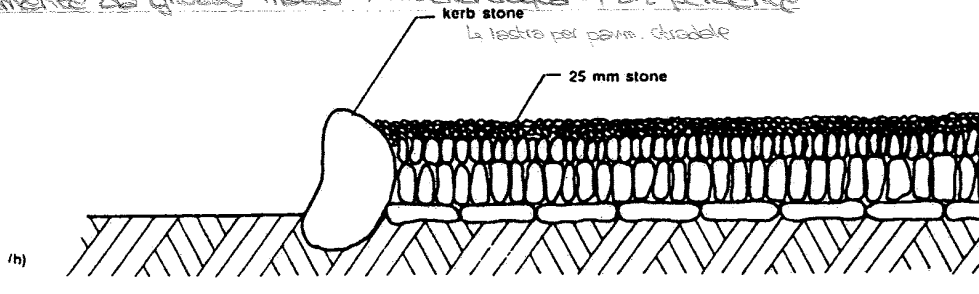
l'assonetto = spazio ottenuto scavando la corteo superficiale
 di blocchi di pietra grosso su fondo scavo + pietrisco su questa base con pietre grossolane.

Strutture costruite
 in orizzontale senza
 pendenze trasversali,
 invece → Romani →
 schiena d'asino →
 spostamento acqua verso



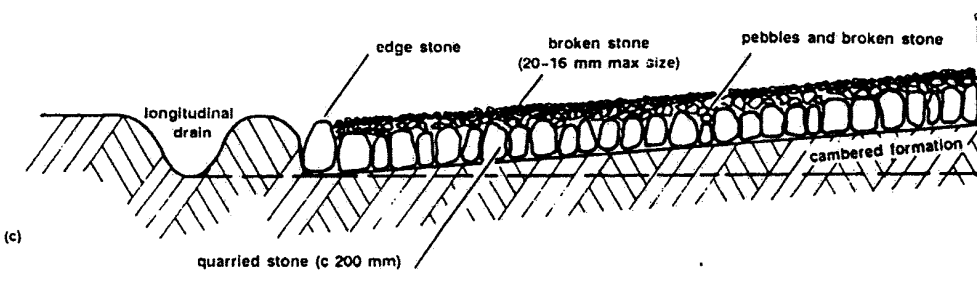
150
 300
 Pista di Trésaguet
 Gautier (si noti che
 le pietre di base sono
 collocate sul piatto)

I lati. Arcor oggi si dà una pendenza trasversale costante per spostare l'acqua ai lati. I Francesi ce n dimenticarono. Gautier non toglieva il terreno vegetale su cui poggiava la struttura nuova; struttura ter- ta lateralmente da grosso masso → Filtra l'acqua → si è pendente



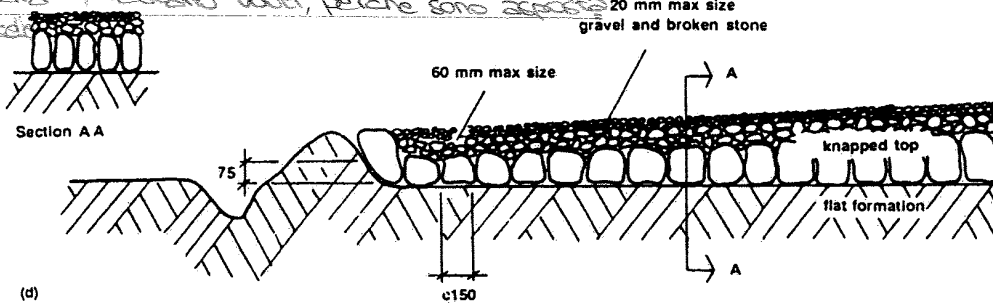
75
 100
 200
 75
 Gautier

Trésaguet → piano d'appoggio inclinato → acqua passa, ma convogliata ai lati
 Tempi di realizzazione considerabili!



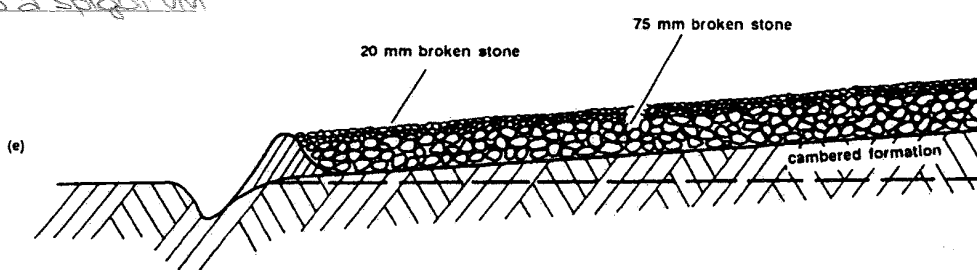
25
 50
 200
 Trésaguet

Ernie di Telford: piano piatto → acqua ristagna → particelle fini plastificate, rese deformabili
 Inoltre drava → restano vuoti, perché sono accata-
 tele le particelle fini



20
 150
 250
 Telford (volava che)
 pietre di base

Piano d'appoggio inclinato, no pietre grosse perché non poteva solo a mano → base o fondazione di pietrisco a spigoli vivi



50
 200
 McAdam

5 esempi di sovrastuttura stradale

Figure 3.8. Pavement cross sections used by the three masters (Trésaguet, Telford, and McAdam) of the paving revival: a, French pavement cross section before Trésaguet and Gautier (note that the base stones are placed on the flat); b, Gautier's pavement cross section; c, Trésaguet's cross section; d, Telford's approach (Telford required the base stones to have their "broadest edge lengthwise across the road." Trésaguet had merely required that these stones be "placed on edge."); e, McAdam's method.

INFRASTRUTTURE VIARIE

Per un millennio non fu più fatto nulla, merci spostate per mare con forza del vento, non degli animali.

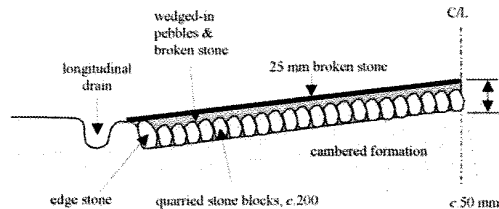
Rinascimento → solo nel 1700 vennero costruite nuove strade con tecniche diversificate a seconda del contesto geografico. (fig. 3.8)

Strade - Introduzione storica (III)

XVIII secolo: il rinnovo delle tecniche costruttive

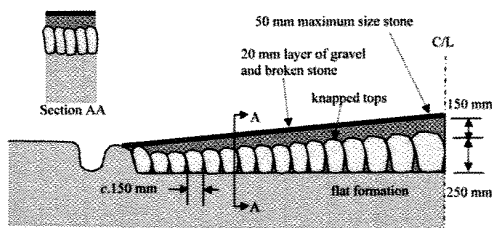
Tresaguet

(Francia, 1764-1775)



Telford

(Scozia, 1801)



INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #1

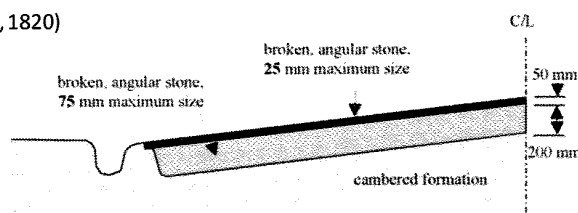
5

Strade - Introduzione storica (IV)

McAdam (Inghilterra, 1820)

stendere il pietrisco a spigoli vivi (abbastanza grossolano → 75 mm) con forza animale che sposta un rastrello → strada di uniforme spessore

Si organizza il traffico di cantiere. • strada non legato in grado di resistere al taglio perché formato da particelle con spigoli vivi taglio → ruote motrici, sovraccarichi verticali



800 → da RUOTA SANA INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #1

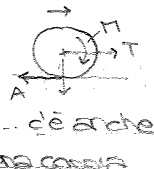
6

TA a MOTRICE! perché si introduce un veicolo a motore che trasmette coppia motrice

Ruota trainata

Ruota motrice

Posso scomporre la coppia in $T \cdot r$ → $T = T \cdot r$



↳ aderenza

Forza di taglio

per vincere ci vuole COSSIONI

INFRASTRUTTURE VIARIE

Altra rivoluzione a fine '800
 pavimentazione / bianca cemento
 nera bitume, usato dai Babingtoni per impermeabilizzare i canali per il trasporto dell'acqua.
 Il bitume è la componente oleosa più pesante contenuta nel petrolio, ma è presente anche nella roccia
 asfaltica. Le strade non sono fatte d'asfalto, roccia calcarea rubata bianca impregnata di
 bitume. Veniva estratta e usata per realizzare impermeabilizzazioni. Estratta, sminuzzata, riciclata
 plastificata e modellata per impermeabilizzare. Scoperta per caso, fin
 '800 pavimentazioni in
 asfalto nelle grandi città
 Europee.

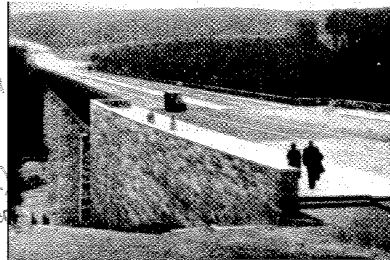
Strade - Introduzione storica (V)

nero → conglomerato bitu-
 minoso

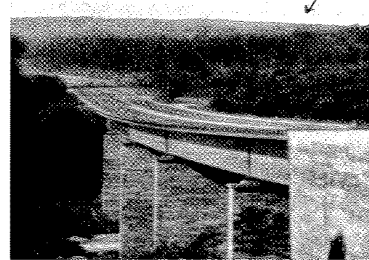
Geometria stradale: fino a
 epoca di introduzione
 guida motrice → minima
 dist. tra 2 punti, lineare,
 curve per scansare ostacoli
 naturali, elemento geom.
 raro (velocità eccessiva di
 in curva → in curva > largh.
 va quando i veicoli raggiu-
 gono velocità considerevoli
 cambia la geometria; le
 prime regole derivano
 dall'ing. ferroviaria →

1900: si iniziano a percepire i primi problemi geometrici derivanti
 dall'aumento delle velocità operative (trasferimento delle regole ferroviarie
 alle strade). Introduzione di nuovi materiali e tecniche di posa per la
 costruzione.

1900-1950: nascita e sviluppo dell'Ingegneria Stradale come disciplina
 autonoma



Autostrada Francoforte-Norimberga
 (anni '30)



Autostrada Francoforte-Norimberga (ricostruzione degli anni 50
 secondo i moderni principi di Lorenz

medesima autostrada non
 gettata anni dopo → diversi
 geometria → Lorenz...

INFRASTRUTTURE
 VIARIE

Lezione #1

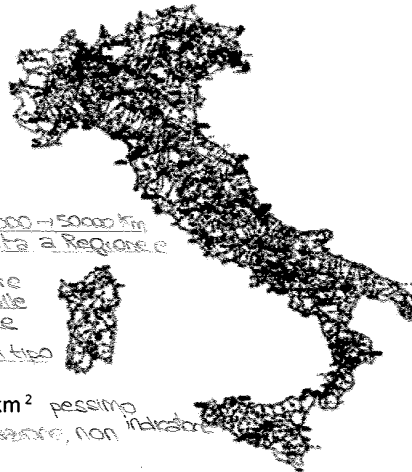
7

determinato raggio (velocità ↑ raggio) legato a ~~serie~~ ^{velocità} percorso; inoltre piano inclinato per
 contrastare l'azione della forza centrifuga. Comunque si hanno ancora curve di modesto/piccolo raggio
 ... non pensare i rettilinei raccordati da curve, ma curve raccordate da rettilinei (visione di stile di Romani
 perché sulla curva dobbiamo concentrarci. La curva si integra bene con l'ambiente. Una strada dritta
 innaturale; sono concetti moderni che adottiamo → dagli anni '40-'50 disciplina autorotante

Le strade in Italia

Anno 2003

- 6.487 km di autostrade
- 419 km di raccordi autostradali
- 21.977 km di S. Statali → prima del 2000 → 50.000 km
 poi trasferita a Regione e
 Provincia
- 23.901 km di S. Regionali → in genere
 gestite dalle
 Province
- 119.644 km di S. Provinciali
- 312.150 km di S. Comunali → strade di tipo
 urbano
- 484.580 km di strade ⇒ 1,6 km/km² pessimo
 stima non precisa → approssimazione, non
 dato esatto
 densità molto alta in pianura



INFRASTRUTTURE
 VIARIE

Lezione #1

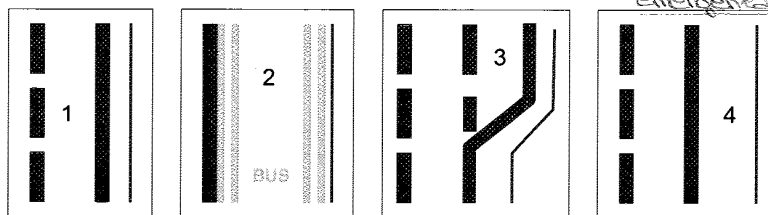
8

INFRASTRUTTURE VIARIE

Elementi della sede stradale

CORSIA: parte longitudinale della strada, normalmente delimitata da segnaletica orizzontale, di larghezza idonea a permettere il transito di **una sola fila di veicoli**. Si distinguono:

1. **corsia di marcia** (corsia facente parte della carreggiata, destinata alla normale percorrenza o al sorpasso); *ordinarie*
2. **corsia riservata** (corsia per la circolazione esclusiva di una o solo di alcune categorie di veicoli); *carreggiata, corsie, ognuna di marcia e sorpasso nel senso opposto che vi è la linea discontinua*
3. **corsia specializzata** (corsia per svolta, attraversamento, sorpasso, decelerazione, accelerazione, arrampicamento o altro);
4. **corsia di emergenza** (corsia per transito dei veicoli di soccorso). *lato della carreggiata, per corsia di emergenza non più grande di 3 metri*



(Soggetta limite veicolo = 2,5 m). Sempre lasciate libere per trasporti di soccorso

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #1

11

Elementi della sede stradale

BANCHINA: parte della strada, libera da qualsiasi ostacolo (segnaletica verticale e dispositivi di ritenuta), compresa tra il margine della carreggiata e il più vicino tra i seguenti elementi longitudinali: marciapiede, spartitraffico, arginello, ciglio interno della cunetta, ciglio superiore della scarpata nei rilevati. *è un fianco di sicurezza della carreggiata, fa sentire più sicuro il guidatore che può recuperare la traiettoria eventualmente persa*

MARCIAPIEDE: parte della strada, esterna alla carreggiata, rialzata o altrimenti delimitata e protetta, destinata ai pedoni.

PIATTAFORMA: parte della sede stradale che comprende una o più carreggiate complanari, le banchine, i margini interni e laterali, le corsie riservate e specializzate, le fasce di sosta laterale, le piazzole di sosta o di fermata dei mezzi pubblici. Non rientra nella piattaforma il margine esterno.

SPARTITRAFFICO: parte longitudinale non carrabile della strada destinata alla separazione di correnti veicolari. *compreso tra due barriere di sicurezza e le include è inalicabile, si cerca di renderlo non attraversabile*

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #1

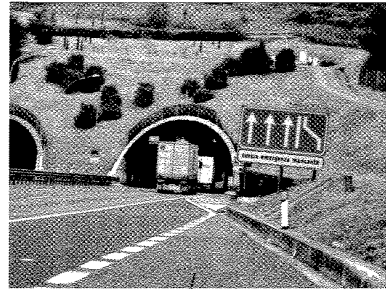
12

INFRASTRUTTURE VIARIE

Alcuni esempi, commenti



Sul lato ex marca banchina di 70 cm e non sul ciglio erboso ma a filo.



Le strade dovrebbero essere riarmate secondo i nuovi principi

Galleria non dotata di banchina o banchina e corsia di emergenza coincide. Nuove norme: nelle gallerie devono essere le due banchine + corsia di emergenza all'interno delle gallerie

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #1

corsia di emergenza + piazzola di sosta (meglio se tutte e 2)

15

Classificazione amministrativa delle strade

In base al proprietario o a chi le gestisce

Legge 20 marzo 1865:

proprietario

- **strade statali** (ANAS)
- **strade provinciali** (Settori Viabilità delle Amm. Provinciali)
- **strade comunali** (Uffici Tecnici delle Amm. Comunali)
- **strade militari** (Ministero della Difesa)
- **strade di bonifica, consorziali, vicinali** (Amm. private)

Le **autostrade** sono state introdotte con la legge n.463 del 21.5.1955 e vengono affidate dall'ANAS a Società Concessionarie che le costruiscono, gestiscono e mantengono per un tempo stabilito (es. Società Autostrade, SATAP, ATIVA, ASTM, SITAF, ...)

anno di introduzione per legge delle infrastrutture autostrade

Proprietario delle strade è lo Stato. Sono pubbliche

Di recente (2000) è stata trasferita alle **Regioni** parte delle competenze relative alle strade statali (**strade regionali**).

Le società gestori autostradali, non proprietari, ma lo hanno in concessione, si sostituiscono allo Stato nella progettazione, costruzione e manutenzione

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #1

16

Per fare ciò → pedaggi, in parte restituiti allo stato. ATIVA esempio di capitale non solo privato, ma anche pubblico (c'è il Comune come socio)

INFRASTRUTTURE VIARIE

Classificazione funzionale delle strade

art.2 del Cds: le strade sono classificate in base alle loro caratteristiche costruttive, tecniche e funzionali, nelle seguenti categorie:

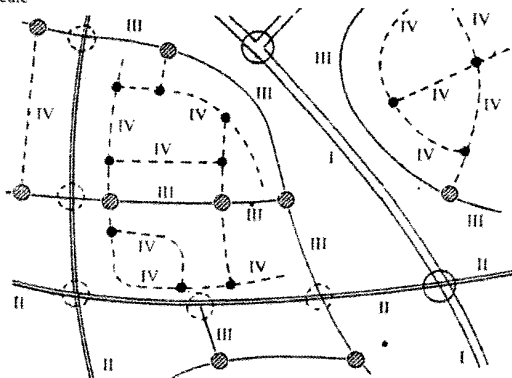
6 categorie, ma A e F
divise in urbane e extra
urbane → sono 8

- A - Autostrade (extraurbane ed urbane) ^{Torino-Tilano tangenziale} RANGO 1 U+E
- B - Strade extraurbane principali RANGO 2 E
- C - Strade extraurbane secondarie ^{2 corsie, una per senso di marcia} RANGO 3 E
- D - Strade urbane di scorrimento ^{certo num. di corsie, spallata laterale, limite 70km/h} RANGO 2 U
- E - Strade urbane di quartiere ^{limite 50km/h} RANGO 3 U
- F - Strade locali (extraurbane ed urbane) ^{non hanno funzione di collegamento, ma di accedere alle destinazioni finali.} RANGO 4 U+E

Classificazione delle reti stradali

I, II, III, IV livelli della rete (primaria, principale, secondaria, locale)

Interconnessioni: ○ primaria
○ principale
● secondaria
● locale



grafo (rapp. geom. approssimato) → evidenzia la connessione tra le parti
Rango I → autostrade
○ - intersezione
Grafo ideale in cui il passaggio tra un arco al successivo avviene variando rango al più di uno, non di due
Le strade si ripartono a questo schema, ma non lo seguono fedelmente
Idea: riprova la funzione di un arco e

individuare i problemi legati a salti di rango come salti repentini di velocità
→ logica → passare gradualmente da un livello all'altro sia a scendere sia a

salire

No salti di rango in linea di principio, non si può passare da una strada di rango 4 a una di rango 3; ogni percorso deve partire e terminare in un tipo di strada che consente l'accesso.

Strada: insieme di NODI e ARCHI

INFRASTRUTTURE VIARIE

Componenti di traffico (C.d.S.)

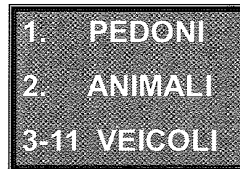
dal 3 classi di suddivisione dei veicoli

1. PEDONI
2. ANIMALI
3. VEICOLI A BRACCIA E A TRAZIONE ANIMALE
 - veicoli a braccia
 - slitte
4. VELOCIPEDI
5. CICLOMOTORI
 - ciclomotori
 - motocicli (< 150 cc)
 - motocarrozzette (< 250 cc)
6. AUTOVETTURE
 - motoveicoli con massa a vuoto ≤ 400 kg
 - motoveicoli con massa tot. ≤ 1300 kg
7. AUTOBUS
 - autobus
 - autosnodati
 - filoveicoli

8. AUTOCARRI
 - autocarri
 - autocaravan
 - trattori stradali
9. AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI
 - autotreni
 - autoarticolati
 - caravan
 - mezzi d'opera
10. MACCHINE OPERATRICI
 - macchine agricole
 - macchine operatrici
11. VEICOLI SU ROTAIA IN SEDE PROMISCUA

destinate alla costruzione delle strade

tram quando sbarcato la sede propria, costruito tra strade e ferrovie



Categorie di traffico ammesse sulla sede *(vedi tabella)*

TIPO SECONDO IL GRADUPE	AMBITO TERRITORIALE	DENOMINAZIONE	CATEGORIE DI TRAFFICO													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
			PEDONI	ANIMALI	VEICOLI A BRACCIA E A TRAZIONE ANIMALE	VELOCIPEDI	CICLOMOTORE	AUTOVETTURE	AUTOBUS	AUTOCARRI	AUTOTRENI AUTOARTICOLATI	MACCHINE OPERATRICI	VEICOLI SU ROTAIA	SOSTE DI EMERGENZA	TRAM	ACCESSI PRIVATI DIRETTI
AUTOSTRADA	A	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	○	○	○	○	○	◆	◆	◆	◆	○	□	○	no
		URBANO	STRADA PRINCIPALE	○	○	○	○	○	◆	◆	◆	◆	○	□	○	no
EXTRAURBANA PRINCIPALE	B	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	○	○	○	○	○	◆	◆	◆	◆	○	○	◆	no
		URBANO	STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	□	□	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	○	○	□	si
EXTRAURBANA SECONDARIA	C	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	○	○	○	○	○	◆	◆	◆	◆	○	○	◆	no
		URBANO	STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	□	□	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	○	○	□	si
URBANA DI SCORRIMENTO	D	URBANO	STRADA PRINCIPALE	○	○	○	○	○	◆	◆	◆	◆	○	○	○	no
		URBANO	STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	○	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	○	○	□	si
URBANA DI QUARTIERE	E	URBANO	STRADA PRINCIPALE	○	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	○	○	◆	si
		URBANO	STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	○	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	○	○	□	si
LOCALE	F	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	○	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	○	○	◆	si
		URBANO	STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	○	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	○	○	□	si

Onon ammessa in piattaforma (3) esterno alla carreggiata (in piattaforma)
 ◆ in carreggiata parzialmente in carreggiata

NOTE:
 (1) vale se è presente una pista ciclabile.
 (2) qualora le categorie 7 e 11 debbano essere ammesse, le dimensioni delle corsie e la geometria dell'asse vanno commisurate con le esigenze dei veicoli appartenenti a tali categorie.
 (3) quando è presente una strada di servizio complementare, caso in cui la piattaforma delle due strade (principale e servizio) è unica, la non ammissibilità sulla strada principale è da intendersi limitata alla sola parte di piattaforma che la riguarda.

INFRASTRUTTURE VIARIE

Ci sono anche massae limite → pagamento tariffa dovuta allo stato pari al max danno prodotto sull'infrastruttura

Sagoma statica e dinamica dei veicoli

È dipendente dalla velocità, è percepita dal guidatore
 ↑ v ↑ sagoma dinamica

Ad alte velocità la strada sembra più stretta perché tendiamo ad osservare i pt. più lontani che ci danno meno fastidio. È un effetto di natura psicologica. Mezzo pesante → a 100km/h chi lo guida ha la sensazione che stia esattamente nella corsia.

Percezione di strada non solo in larghezza ma anche in altezza → garantire 5, 5,20, 5,30 m di franco libero tra impalcati e pavimentazione

Misura fisica e psicologica che non va dimenticata

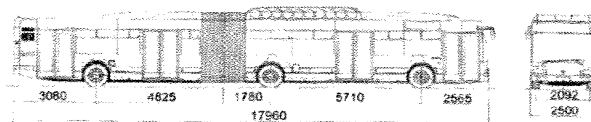
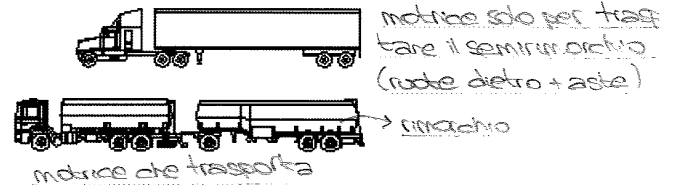
5 m
4,0 m
2,5 m
3,5 m

Sagoma dinamica (v=90 km/h)
Sagoma statica (v=0 km/h)

INFRASTRUTTURE VIARIE Lezione #1

Lunghezze limite

- Motoveicoli (a 2 o 3 ruote):
Lunghezza < 4 m, Larghezza < 1,6 m, Altezza < 2 m
- Veicoli a 2 o più assi: L < 12 m
- Rimorchi ad 1 asse: L < 7,5 m
- Autoarticolati ed autosnodati: L < 16,5 m
- Autotreni con rimorchio: L < 18,35 m



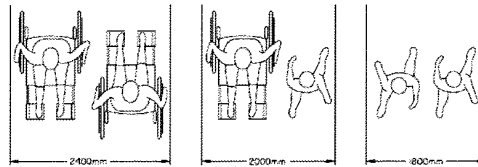
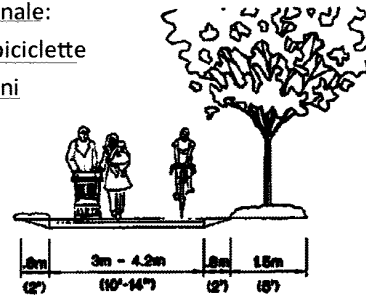
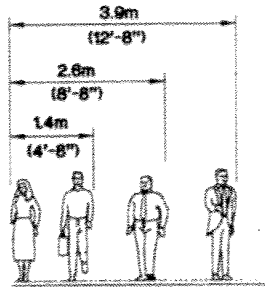
Semirimorchio non può muoversi da solo se sganciato dalla motrice può solo stare fermo

INFRASTRUTTURE VIARIE

Pedoni e ciclisti

Caratteristiche del movimento ciclo-pedonale:

- velocità contenute < 10-15 km/h biciclette
1-4 km/h pedoni
- non si procede su file parallele
- necessità di protezione



NOTE: A MINIMUM OF 1500mm IS COMMONLY ACCEPTABLE

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #1

31

dim. minima legge --
 Marciapiede, largo 1.6m, solo in ambito urbano. I pedoni in ambito extraurbano possono muoversi se lungo la banchina per consentire il transito di pedoni in senso opposto.
 Vetture → pedoni e fermanti → sottrag. poco spazio → 1.6 o 1.9 m

Totale incompatibilità tra pedoni e velocipedi → separare pista ciclabile da percorsi pedonali!

INFRASTRUTTURE VIARIE

Il sistema nasce per trasporto merci e prodotti (di scavo delle gallerie). Inizio → ruote di legno su rotaie di legno. L'uso dell'acciaio → ridurre le resistenze al moto → stesso sforzo traino più carri. Ruote metalliche con bafino per non fare uscire la ruota dalla sede. Inizialmente animali, poi → motore → prime locomotive nel 1825* in Inghilterra. Nel '38 prima linea italiana. A fine '800 rete ferroviaria italiana già costituita → rapida evoluzione. Si usa oggi lo stesso sistema, ma cambiano le velocità, i materiali, le geometrie, le precisioni costruttive rispetto a '800, ma tecniche e filosofia sono le stesse. Innovazione → lubrificazione asse → oltre al sostegno e guida, la sede infrastrutture consente

Ferrovie - Introduzione storica

a propulsione dei vettori
 bassa induzione → velocità
 (record 450-500 km/h)
 che solo con la levitazione magnetica

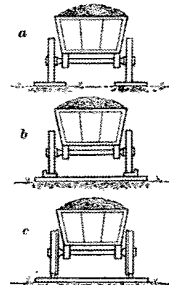
XVII secolo

- trasporto materiali su carrelli con ruote di acciaio su rotaie di legno
- successione di rettilinei con curve di modesto raggio



1825-1825*

- Stephenson costruisce la linea Liverpool - Manchester
- con la Portici - Napoli inizia la storia delle ferrovie italiane



XX secolo

- Alta velocità
- Levitazione magnetica



INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #2

3

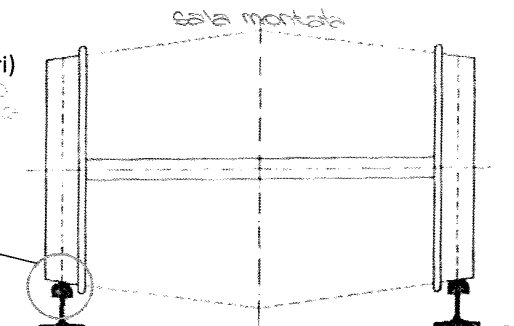
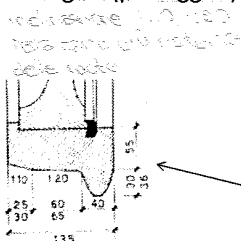
Ferrovie

- **Caratteristiche comuni**
 - la guida è affidata al binario
 - collegamento rigido asse-ruote
 - ruote con forma conica

in cilindriche, e dotate di
 cilindro

le ruote sono rigidamente collegate fra di loro, non esiste il differenziale usato in ambito stradale per avere v delle ruote diverse.

- **Convoglio ferroviario**
 - trattore
 - carri (merci)
 - vagoni (passeggeri)



INFRASTRUTTURE VIARIE

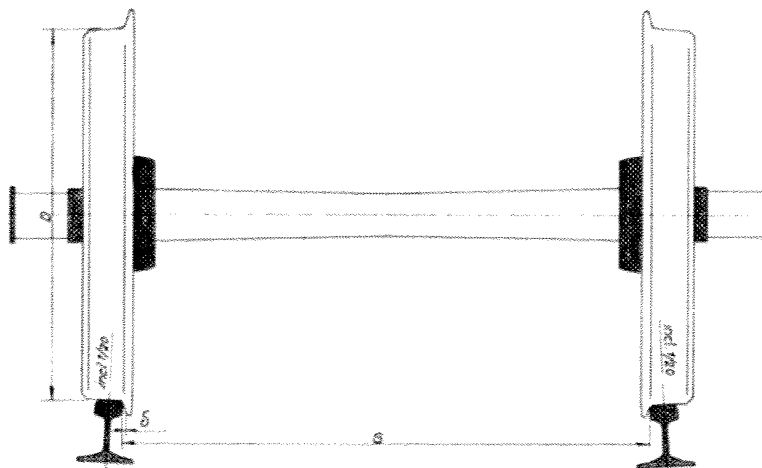
Lezione #2

4

INFRASTRUTTURE VIARIE

Accopp. efficace birotto/ruota → montati leggermente inclinate verso l'interno. È la stessa inclinazione della ruota conica.

Ferrovie, principi di funzionamento

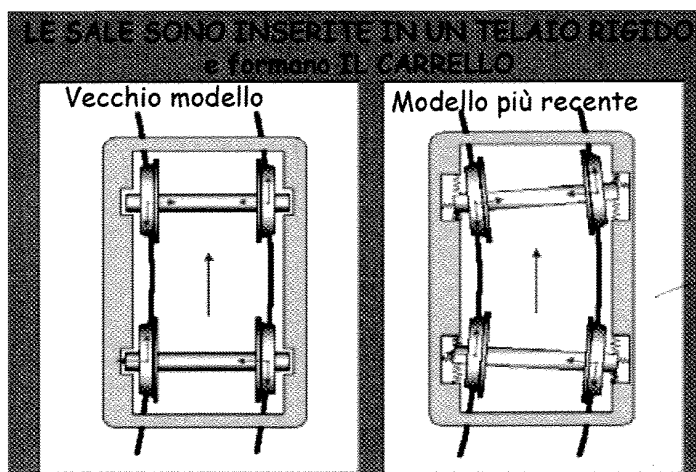


INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #2

7

Ferrovie



Accoppiamento delle 2 sale forma il carrello

Modello più recente
incisione in curve di raggio più strette, mentre prima il carrello poteva bloccarsi nelle curve

Fonte: prof. A.Ranzo (La Sapienza)

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #2


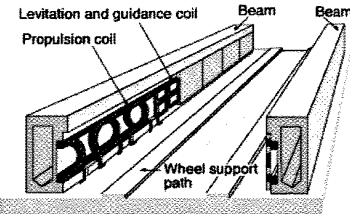
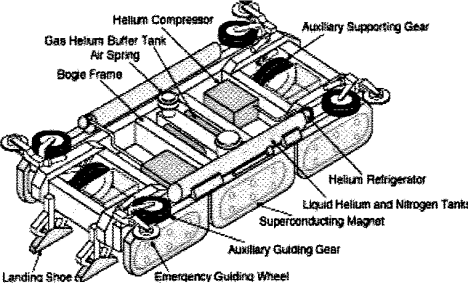
8

INFRASTRUTTURE VIARIE

*Cina → non c'è manutenzione
Giappone → fino a 70 km/h treno normale, poi a levit. magn.*

Caratteristiche del MAGLEV

MAGLEV TRAIN MLX01 (Japan):
552 km/h
Yamanashi Maglev Test Line, 14.4.1999

Labels in diagrams include: Levitation and guidance coil, Propulsion coil, Beam, Wheel support path, Helium Compressor, Gas Helium Buffer Tank, Air Spring, Bogie Frame, Auxiliary Supporting Gear, Helium Refrigerator, Liquid Helium and Nitrogen Tanks, Superconducting Magnet, Auxiliary Guiding Gear, Emergency Landing Shoe, Emergency Guiding Wheel.

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #2

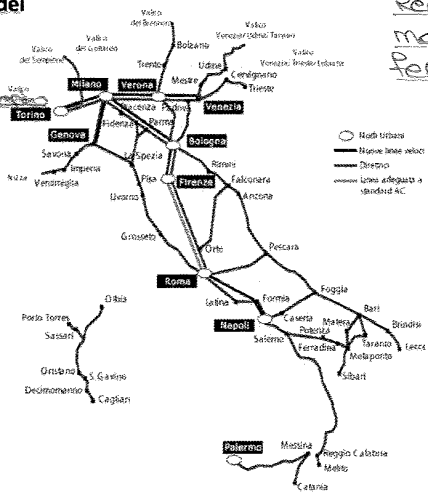
11

Le ferrovie italiane

*da ente unico a più società
RFI gestore unico
Trenitalia no. di parte Italo*

- **Riorganizzazione e liberalizzazione del sistema di circolazione**
 - RFI, Italferr, Trenitalia
 - Privatizzazione e liberalizzazione
- **Adeguamento sicurezza**
- **Alta capacità/velocità ferroviaria**
- **Riqualificazione linee di interesse:**
 - metropolitano
 - regionale
- **Riqualificazione nodi urbani**
 - progetto grandi stazioni
 - progetto cento stazioni
 - progetti regionali movicentro

*società divise per manutenzione
linee esistenti e costruzione
nuove linee*



Regioni → controllo e monitoraggio traffico ferroviario

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #2

12

INFRASTRUTTURE VIARIE

Classificazione delle ferrovie italiane

dati al: 31 dicembre 2012

LINEE FERROVIARIE IN ESERCIZIO (1)		16.741
CLASSIFICAZIONE		
Linee fondamentali		6.444 km
Linee complementari		9.359 km
Linee di nodo		938 km
TIPOLOGIA		
Linee a doppio binario		7.536 km
Linee a semplice binario		9.205 km
ALIMENTAZIONE		
Linee elettrificate		11.931 km
- Linee a doppio binario		7.459 km
- Linee a semplice binario		4.472 km
Linee non elettrificate (diesel)		4.810 km
LUNGHEZZA COMPLESSIVA DEI BINARI (2)		24.277 km
linea convenzionale		22.935 km
linea AV (3)		1.342 km

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #2

15

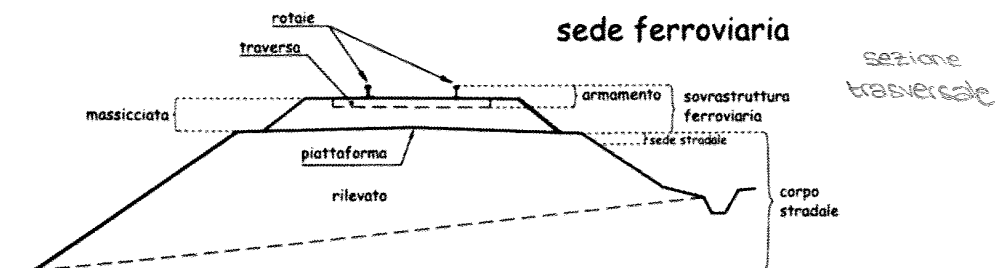
Punto di contatto sulle rotaie, metalliche, collegate tra loro attraverso organi di attacco e le traversine sono elementi rigidi poggiati, ancorati nella massicciata. Lo spazio entro cui si ancorano è il cassonetto. Tra assi di traversine successive c'è una 60 cm. L'accoppiamento traversine, attacchi, rotaie formano l'armamento. Coppia di rotaie = binario.

Massicciata fatta di pietre, materiale inerte. Con l'armamento forma la sovrastruttura ferroviaria. Si parla di "strada ferrata" perché fatto di strati; il corpo stradale è delimitato esp. dalla piattaforma superiore e su cui poggia il ballast, ha forma a doppia falda.

Sede ferroviaria (I)

Piattaforma di formazione con inclinazione del 3,5% → l'acqua scorre lateralmente in un materiale impermeabile

- Armamento (Rotaie, Traversine, Giunzioni, Attacchi)
- Massicciata o ballast
- Piattaforma (Sottofondo, subballast, supercompattato)
- Corpo del rilevato



INFRASTRUTTURE VIARIE

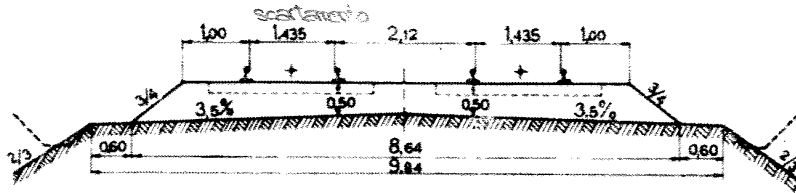
Lezione #2

16

INFRASTRUTTURE VIARIE

con questo scartamento le ruote toccano la sede in punti che distano di 1,5m
 Infrastruttura → categorie → A e B
 A per traffico ferroviario elevato sia per carico sia per velocità.

Ferrovie ordinarie con sede tipo A in rettilineo



Nel caso della sezione tipo A si adotta uno spessore di 50 cm. della massicciata, inclusa la traversa nelle 2 rotaie interne. 50 cm è la minima misura, cresce sulle rotaie esterne perché il periodo di Rottazione è inclinato del 3,5%.
 Tale spessore dipende dall'entità degli sforzi trasmessi, che a loro volta dipendono da:

- peso massimo dei convogli
- distanziamento tra traverse successive
- velocità di esercizio della linea

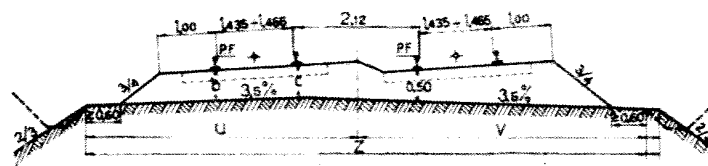
INFRASTRUTTURE
VIARIE

Lezione #2

19

in curva la geom. cambia, ma quel 50 cm solo confermato. Le altre misure cambiano al variare dell'elevazione che va data in mm, e il max è 160 mm.

Ferrovie ordinarie con sede tipo A in curva



Sopraelevazione cm	irinea			rilevato			Volume medio massiccia m ³ /m
	U	V	Z	U	V	Z	
1	4,90	5,05	9,95	1,90	5,05	9,95	3,84
2							
3							
4							
5	4,80	5,20	10,—	1,80	5,30	10,10	1,06
6-11							
12-16	4,75	5,35	10,10	1,75	5,50	10,25	1,36

N.B. Per sopraelevazioni \geq di 5 cm $b = 50$ cm; $e \geq 50$ cm.
 Per sopraelevazioni $<$ di 5 cm $b > 50$ cm; $e = 50$ cm.

La misura minima è 50 cm

INFRASTRUTTURE
VIARIE

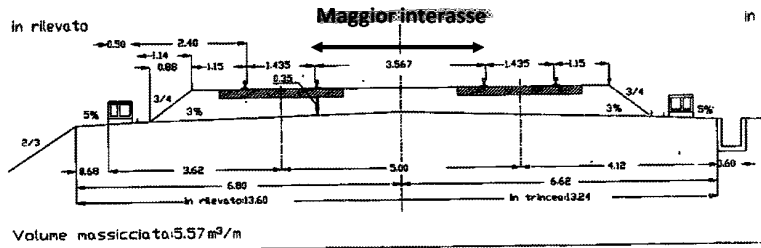
Lezione #2

20

INFRASTRUTTURE VIARIE

Ferrovie ad alta velocità italiane

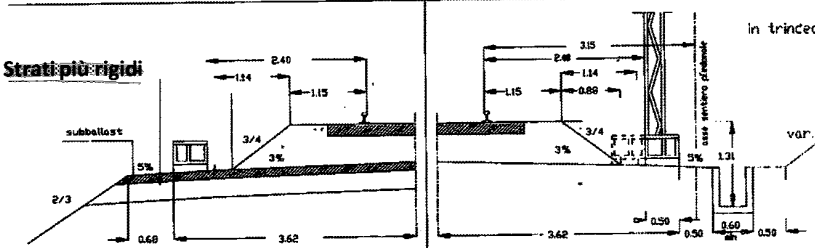
*cambia l'interasse non 2.12 m ma 3.55
→ cambia anche l'interasse*



Inclinazione treni → spazio d'aria → compressione var. → eventuale deroga merito → ? distanza

Fl. lista riproponendo anche per le ordinarie

Strati più rigidi



var. misure in metri (1° al lembo interno, 2° misure in metri (1° al piano del ferro, 2° in curva è la rotella interna)

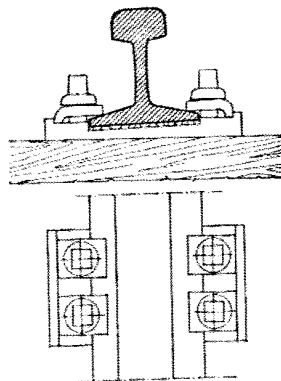
INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #2

23

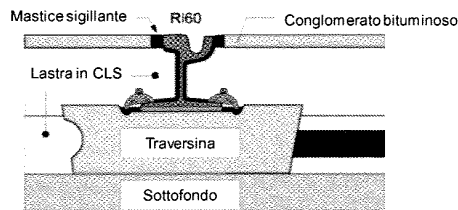
Rotae ed organi di attacco

Ferrovie ordinarie



Tramvie

forma a fungo, ma cambia in sede promiscua perché deve raccordarsi alla pavimentazione



INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #2

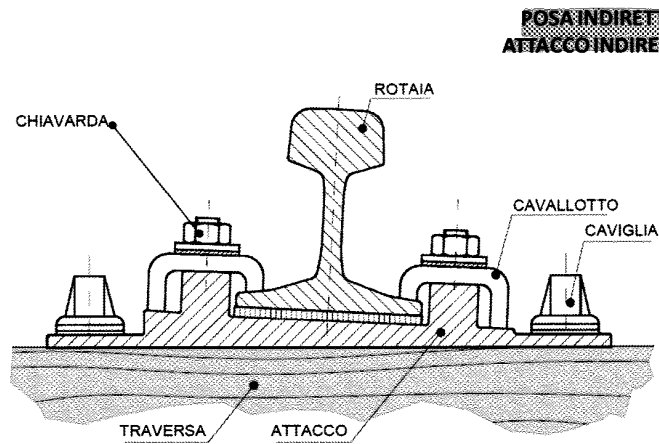
24

INFRASTRUTTURE VIARIE

La rotaia non dev'essere in tutt'uno con la traversa perchè è in acciaio → si riscalda → rotaia è corpo deformabile a seconda della T → no collegamento rigido, è solo una crata per consentire alla rotaia di respirare, altrimenti stati di compressione che possono rompere la rotaia. La rotaia però non deve scivolare trasv. → i rulli sui lati.

Rotaie ed organi di attacco

Se non ci fosse la caviglia la piastra sarebbe libera di muoversi.



INFRASTRUTTURE
VIARIE

Lezione #2

27

Traverse *in legno o sarrab*

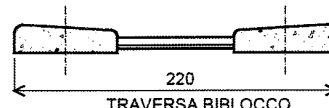
Le traverse in legno sono trattate (impregnate) con olio di creosoto.

Il creosoto è il nome comune di diversi prodotti, di differente composizione. Si tratta di derivanti dalla distillazione o di legna, o di catrami minerali.

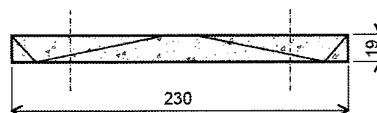
cancerogeno
Tossico e nocivo per la salute, ha funzioni di conservante, fungicida e insetticida.
per non rendere aggradevole il legno a farlo rimanere in vita per anni



TRAVERSA IN LEGNO



TRAVERSA BIBLOCCO



TRAVERSA IN CEMENTO ARMATO

INFRASTRUTTURE
VIARIE

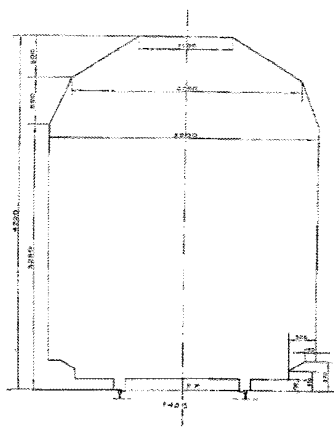
Lezione #2

28

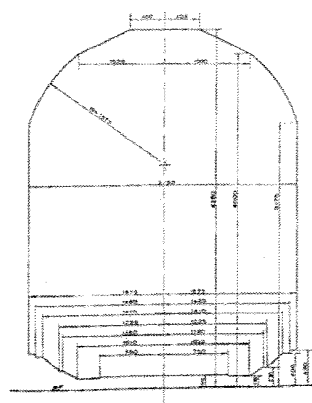
Non si usa il creosoto sulla linea, ma nei pezzi speciali in cui si diramano più binari si usa ancora il legno. Attivo de arredo precompresso.

INFRASTRUTTURE VIARIE

Sagome limite *dei carri*



Sagoma limite italiana



Sagoma limite internazionale

INFRASTRUTTURE
VIARIE

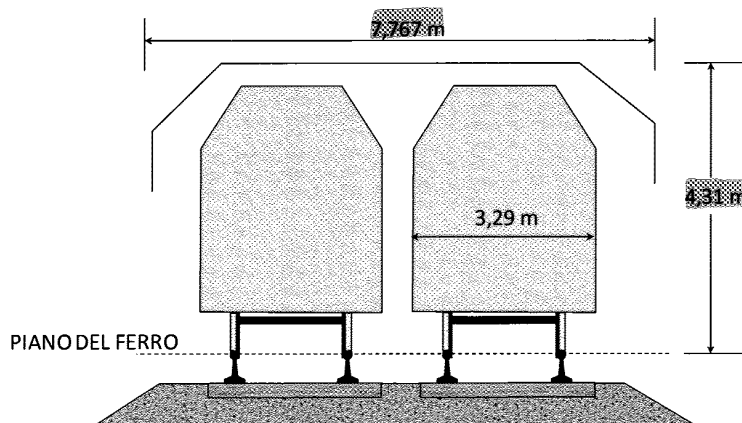
Lezione #2

31

Franchi liberi

*... ma ci interessano queste misure minime 4.31 m e 3.29 m
Bisogna stare al di sopra → normative*

UIC – International Railways Union



INFRASTRUTTURE
VIARIE

Lezione #2

32

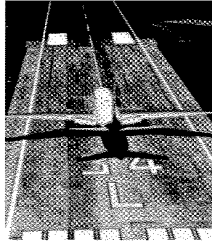
INFRASTRUTTURE VIARIE

Aeroporti

Sistema a circolazione libera

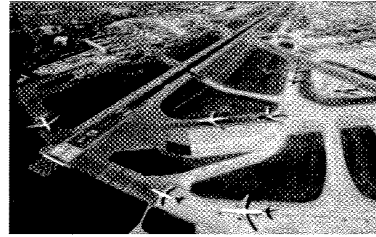
Pilota guidato nei momenti dai controllori di volo, non libero, ma libero di scegliere rotatoria e velocità, ma non percorso.

Il velivolo è condotto dal pilota sulla pavimentazione che ha la sola funzione di sostegno



Regime di circolazione

La circolazione dei velivoli negli spazi aerei e sulle piste e piazzali è disciplinata dai controllori di volo.



Piste di rullaggio: da piste di volo a piazzali e v.

Riferimenti:

→ Norme ICAO – International Civil Aviation Organization

→ Norme FAA – Federal Aviation Administration

Testi di Ingegneria Aeroportuale

adottati negli Stati Uniti, regola anche organizza gestione infrastrutture.

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #2

33

Aeroporti – Introduzione storica (I)

17 dicembre 1903

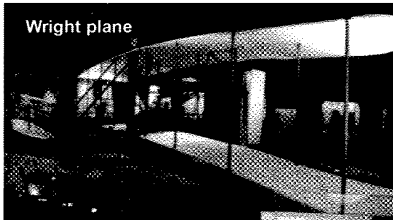
- 12 secondi di volo con l'aeromobile di Orville e Wilbur Wright

1910-1930

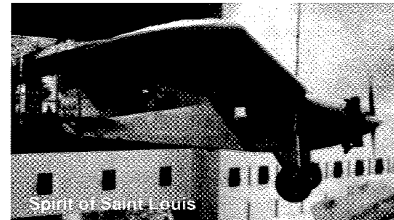
- Sviluppo dell'aviazione militare ed esecuzione di servizi postali

- Piste da volo in terra battuta e specchi d'acqua (idrovolanti)

- 1927 prima trasvolata atlantica (Lindbergh) Spirit of Saint Louis



Wright plane



Spirit of Saint Louis

prima trasvol. atl.

National Air and Space Museum - Smithsonian Institution – Washington D.C.

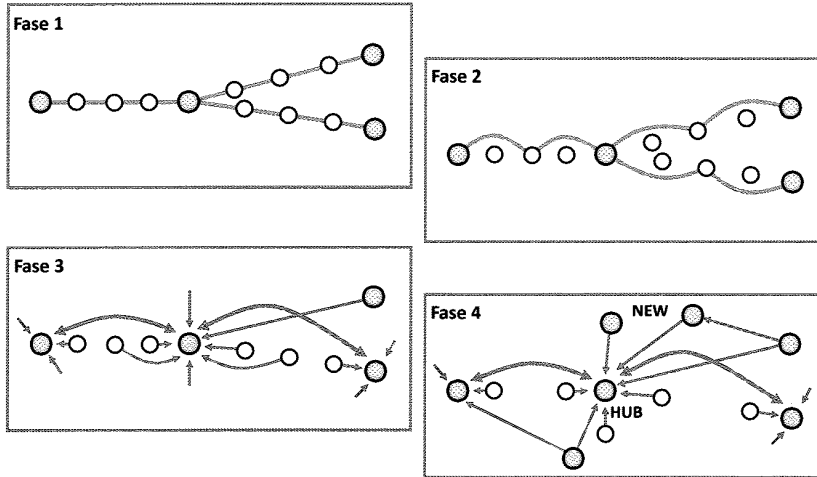
INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #2

34

INFRASTRUTTURE VIARIE

Sviluppo storico delle reti aeree



INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #2

37

Sistema di trasporto aereo



corridoio Rordam. con l'Europa

INFRASTRUTTURE VIARIE

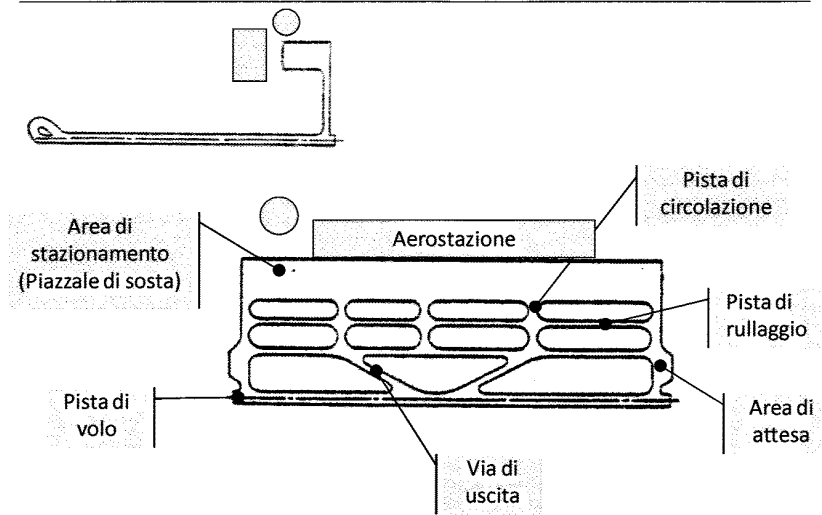
Lezione #2

38

INFRASTRUTTURE VIARIE

Piste larghe per vento trasversale (2 volte atterrano ruotati per contrastare vento)

Elementi costituenti l'area aeroportuale



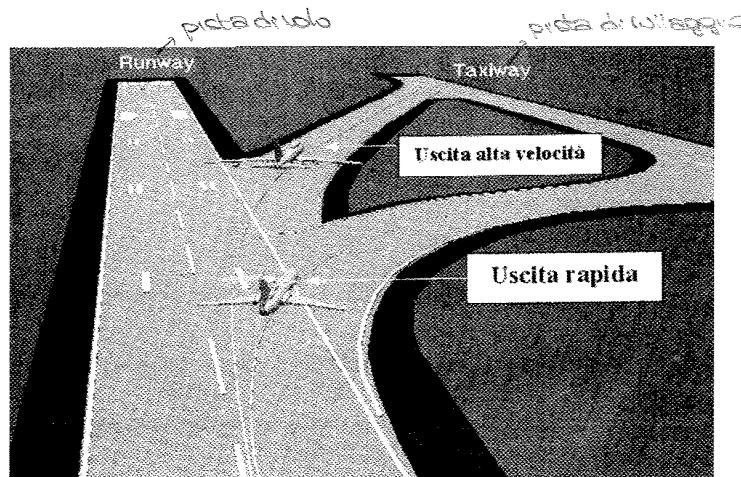
INFRASTRUTTURE
VIARIE

Lezione #2

41

Vie di uscita dalla pista

*di uscita
↓ tempo ↑ n° aerei che atterrano ↑ capacità
aerporti*



INFRASTRUTTURE
VIARIE

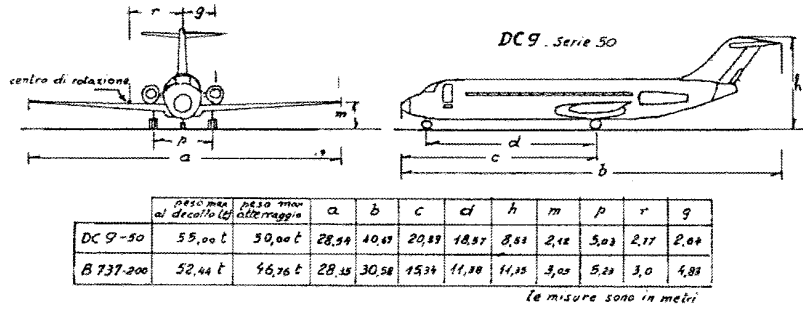
Lezione #2

42

INFRASTRUTTURE VIARIE

Aerei → vita utile 30-50 anni

Aeromobili civili – DC9 e B737



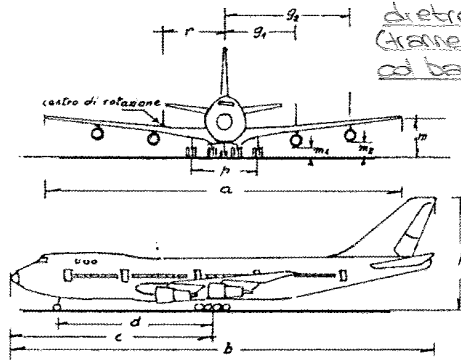
INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #2

45

Aeromobili civili – B747-100

peso 383 t scaricato su 4 gambetto, si accenna con 4 ruote → 16 ruote, quasi tutte dietro perché il carrello principale è a tre (tranne 9 davanti, con ruota di guida) ed bilanciato



peso max dec.	peso max att.	a	b	c	d	h	m	m ₁	m ₂	p	r	g ₁	g ₂
323,05 t	256,02 t	59,84	70,51	31,01	25,66	19,33	3,08	4,19	4,88	14,02	14,38	11,56	21,78

Le misure sono in metri

B 747-100

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #2

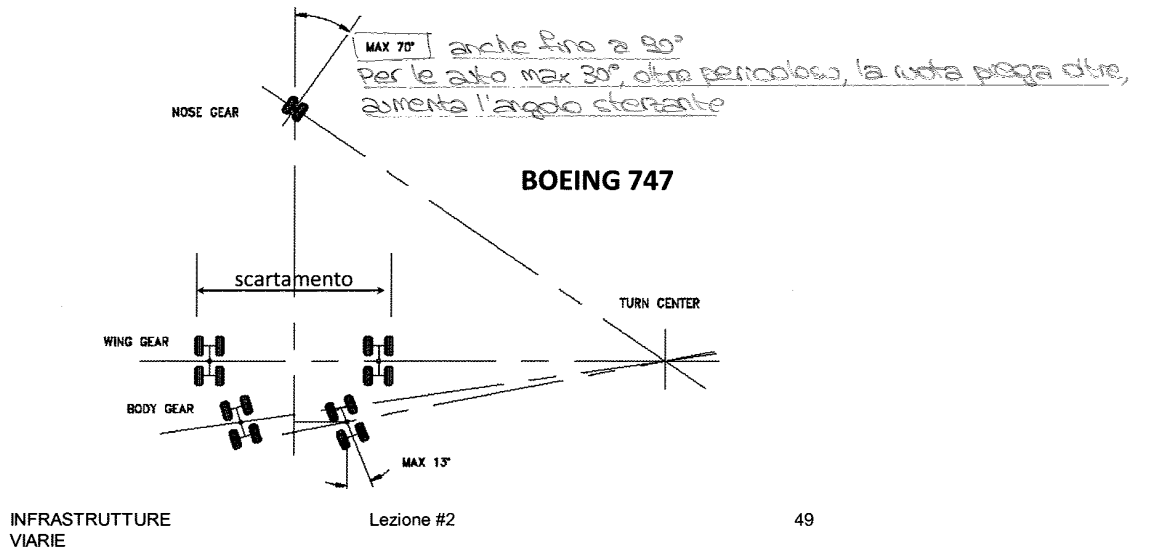
46

h ≈ 20 m
b ≈ 70 m
a ≈ 60 m

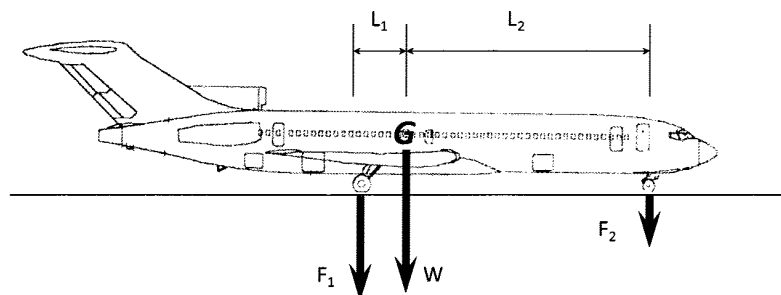
INFRASTRUTTURE VIARIE

2 centrali sotto la fusoliera, altri sotto le ali
ruote anteriori sterzanti, posteriori fisse

Velivoli – Manovre



Velivoli – Distribuzione dei carichi



$$W = F_1 + F_2$$

$$F_1 = (0,9 \div 0,95) \cdot W$$

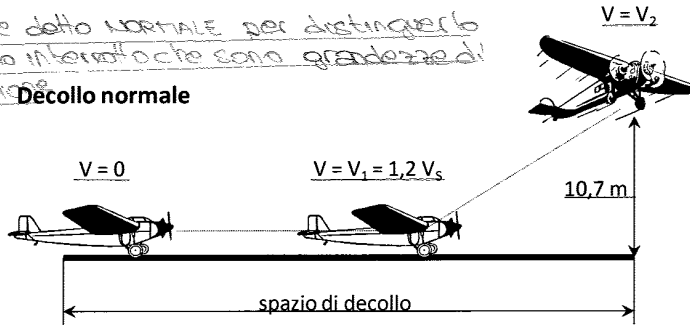
carrello principale scarica 90-95% peso
G molto vicino ad esso

INFRASTRUTTURE VIARIE

Spazio di decollo = spazio necessario ad un velivolo per, partendo da zero, riuscire a staccarsi dalla pista e raggiungere una quota di riferimento che le regole internazionali fissano a 35 piedi (10,7m). Il velivolo parte da $v=0$, accede alla pista, deve raggiungere una certa v detta v di stallo che è la v limite al di sotto di cui è in grado di, con l'aria che arriva sotto le ali, ribattere la spinta, la pressione dell'aria che consente al velivolo di staccarsi dalla pista, perché tale spinta va dal basso verso l'alto ed è detta PORTANZA ALARE. Quando tale quota supera il valore del peso del velivolo, il motore assoluto (↓ peso, ↑ spinta), il velivolo si stacca. Per poter raggiungere la portanza deve superare di $\approx 10\%$ la v di stallo, del 90% → il pilota regola le ali per ottenere tutta la portanza e staccarsi. Si stacca il carrello anteriore, poi manovra si considera esaurita.

Lunghezza di campo caratteristica

Lo spazio di decollo è anche detto **normale** per distinguerlo dal decollo critico e decollo intermedio che sono grandezze di riferimento per la progettazione degli aeroporti.



Tale spazio

Dipende da:

- intensità del vento
- densità dell'aria (temperatura, quota sul livello del mare)
- inclinazione della pista

INFRASTRUTTURE
VIARIE

Lezione #2

53

Classificazione degli aeroporti - ICAO

ICAO aerodrome reference codes

Aerodrome code number	Reference field length (m)	Aerodrome code letter	Wingspan (m)	Outer main gearwheel span (m)
1	<800	A	<15	<4,5
2	800-<1200	B	15-<24	4,5-<6
3	1200-<1800	C	24-<36	6-<9
4	≥1800	D	36-<52	9-<14
		E	52-<65	9-<14
		F	65-<80	14-<16

uso pista

manovre a terra

codici numerici riferiti alla lunghezza di campo caratteristico (reference field length). A ogni codice corrisponde un velivolo: è il cosiddetto aereo critico. Le piste classificate con codice 4 hanno come potenziali aerei critici quelli prodotti ad x

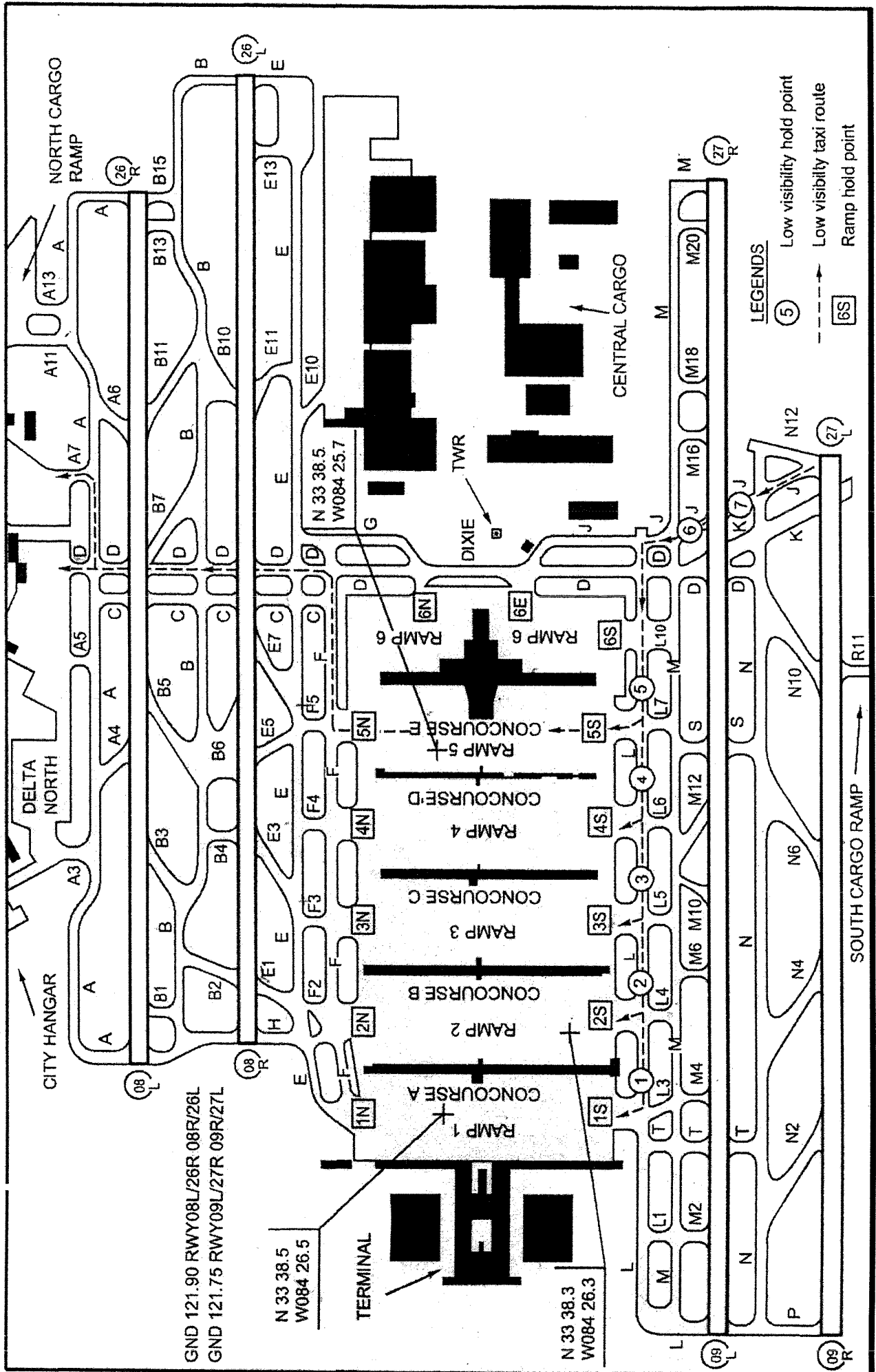
1	Cessna 150	A	Cessna 150
2	Lear jet, Short S D30	B	Short S D30
3	Airbus A300 Fokker F27, F28	C	Boeing 727, 737, Concorde Fokker F27, F28
4	Airbus A310, Boeing 727, 737, 747, 757, 767, 777, Concorde	D	Boeing 757, 767, Airbus A310
		E	Boeing 747
		F	Airbus A380

protezione alata tra 65 e 80m
scostamento del carrello principale tra 14 e 16 m

INFRASTRUTTURE
VIARIE

Lezione #2

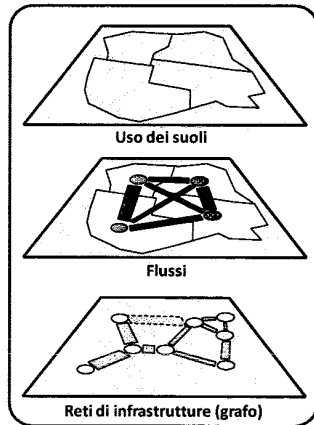
54



ATLANTA

INFRASTRUTTURE VIARIE

Generazione, distribuzione, scelta modale e assegnazione



INFRASTRUTTURE VIARIE

Per valutare (o pianificare) i sistemi di trasporto, è necessario conoscere come i flussi in movimento si distribuiscono (o si distribuiranno) tra le infrastrutture. Ciò passa attraverso varie fasi:

1. delimitazione dell'area di studio, la suddivido in
2. usi del territorio delle sotto-aree
3. capacità di generazione e attrazione della domanda (T)
4. valutazione delle diverse infrastrutture disponibili (A)
5. valutazione della distribuzione dei flussi tra i diversi sistemi (o modi) di trasporto disponibili

Valuto le interazioni tra le sottoparti del territorio cercando di capire come un certo numero di movimenti che si generano in un'area trovano su un'altra area scegliendo una certa infrastruttura che più o meno può percorsi - capire che percorsi vengono scelti

Attraverso questo studio si può qualificare la domanda che si distribuisce sui diversi parti della rete, sulle varie

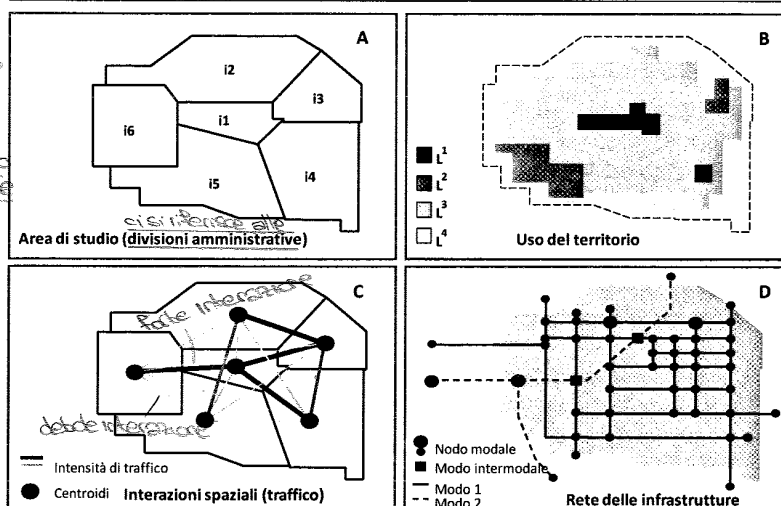
Lezione #3

Infrastrutture

3

Analisi della domanda

a dimensione dell'area di studio dipende dal tipo di problema affrontato. Differenzio l'area in porzioni (città -> quartieri, regioni -> province). Faccio una suddivisione che segue la struttura del territorio



INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #3

Capire come il territorio è organizzato. Distribuzione residenza, mobilità a mezzo/veicolo. Zone con metrò/ata: mobilità veloce tarda sera quando si torna a casa. Parco cittadino: attrazione nelle ore centrali del fine settimana. Capire quanto un'area produce o assorbe mobilità.

4

Questa operazione è fatta individuando i CENTRONI, entità fisica che produce e raccoglie movimenti persone, veicoli, vagoni, convogli che si spostano. Sono come i centri di massa di un'area e questi interagiscono tra loro -> persone che si spostano da un'area a quella adiacente. Esistono interazioni -> generazione e attrazione di spostamenti. Fin a qui sappiamo quanti si spostano da un punto

conosciamo i percorsi -> bisogna discretizzare le infrastrutture. Devo capire quale infrastruttura sceglie e, nell'ambito di questa, qual è il percorso.

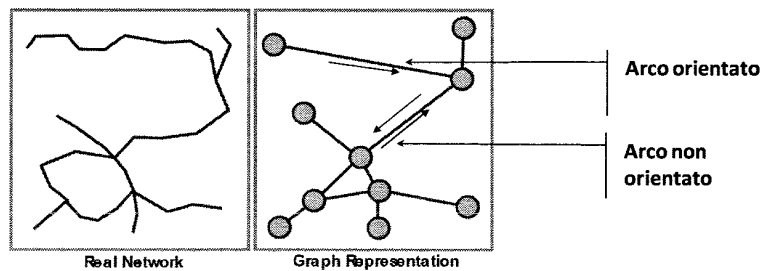
INFRASTRUTTURE VIARIE

Analisi della domanda → con teoria dei grafi, entità geom. semplice che rappresenta in modo schematico una rete anche complessa. Il grafo è formato da nodi e archi che li collegano

Grafi per la rappresentazione delle infrastrutture

Un grafo è costituito dai seguenti elementi di base:

- **rami** (o archi o bordi) con prestazioni costanti lungo il loro sviluppo, possono essere orientati (se percorribili in un solo verso) o non; *es. strada a senso unico*
- **nodi** (o interconnessioni, vertici, punti), punto in cui si intersecano più archi



INFRASTRUTTURE
VIARIE

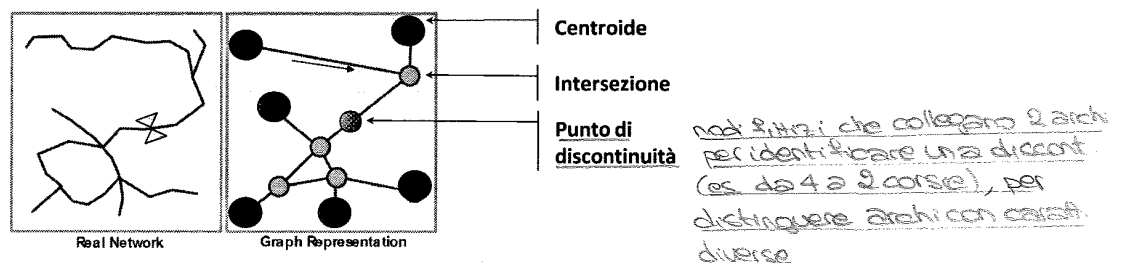
Lezione #3

7

Elementi del grafo

Un nodo può essere la rappresentazione di:

- **intersezioni** (connessioni della rete)
- **centroidi** (punti in cui si genera o è destinato un flusso) *nodi particolari da cui si genera o a cui attratta la mobilità*
- **punti di discontinuità** (restringimenti con variazione delle proprietà del ramo). *nodi critici che collegano 2 archi per identificare una discontin. (es. da 4 a 2 corsie), per distinguere archi con carichi diversi*



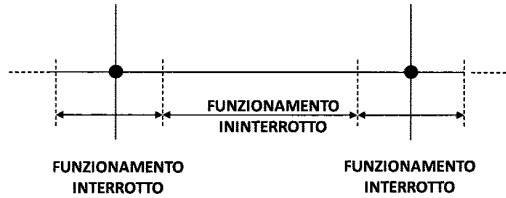
INFRASTRUTTURE
VIARIE

Lezione #3

8

INFRASTRUTTURE VIARIE

Funzionamento interrotto o ininterrotto a seconda che ci muoviamo lungo un arco o ci spostiamo attraverso un nodo



Condizioni del flusso:

- **interrotto**, caratteristico nei punti in cui convergono più infrastrutture (intersezioni, stazioni) e nei quali parte degli spostamenti (o tutti) attendono il loro turno di attraversamento del nodo (con possibile formazione delle code). In questi punti i sistemi di controllo impongono l'arresto delle correnti (impianti semaforici, segnali di "stop" e di "precedenza"); l'arresto è quindi dipendente da fattori esterni alla corrente;
- **ininterrotto**, caratteristico dei percorsi in cui il flusso non è arrestato se non da cause interne al flusso stesso (incidente, rientro da corsie di emergenza, congestione). L'eventuale interruzione non è prodotta da fattori esterni!

è previsto che una o più entità si fermino per rispettare vincoli di precedenza e consentire il passaggio di un'altra corrente

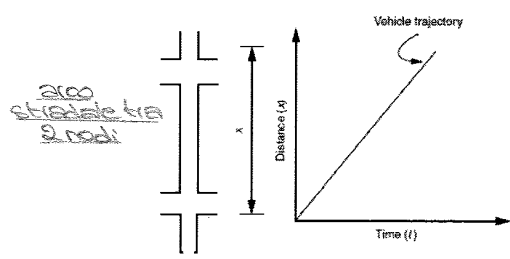
INFRASTRUTTURE VIARIE Lezione #3 11

Questi tratti di infrastruttura funzionano in modo ininterrotto. Progetta le intersezioni in modo diverso dalle sezioni, cioè dai tratti tra un nodo e l'altro.

Diagrammi spazio-temporali per studiare come le entità si muovono sugli archi.

Sono realizzati allo scopo di studiare il movimento di un veicolo lungo una strada, di un aereo lungo il sentiero di avvicinamento a un aeroporto, un convoglio lungo una linea, ...

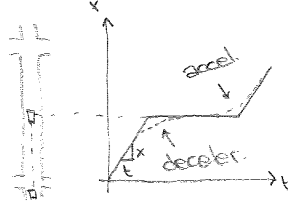
La traiettoria è la rappresentazione grafica della posizione (x) in funzione del tempo (t), ossia attraverso la funzione $x=x(t)$.



su un sistema di assi spazio-tempo. Disegna il movimento di un veicolo che si sta spostando a v costante.

INFRASTRUTTURE VIARIE Lezione #3 12

Caso di un veicolo che si ferma lungo un tratto di strada

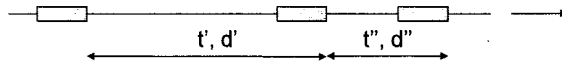


Fino all'istante prima di fermarsi il veicolo aveva una certa v. Rallentamento del movimento → curva per la decelerazione. Tratti a pendenza costante → v cost. (ricorda quello di cui, ma v=0). Tratti curvi → variazioni di v → accel. o decel.

INFRASTRUTTURE VIARIE

FLUSSO = n° veicoli che transitano nell'unità di tempo che è l'ora. *È una caratt. della corrente*
CAPACITÀ = n° max di veicoli che in quell'intervallo di verde possono passare. *È ciò che effettivamente passano*
 È una caratt. dell'infrastruttura, non della corrente. *Dipende dal tempo di verde*
 Se $Flusso > Capacità \rightarrow$ congestione

Flusso di una corrente



Nel caso più generale il flusso Q è determinabile attraverso la seguente relazione:

$$Q = \frac{1}{t_m} [v/s] = \frac{3600}{t_m} [v/h] = \frac{n \cdot N \cdot 3600}{t_m} [pax/h]$$

Entità isolate
Convogli

Flusso è calcolabile come il rapporto tra il numero di entità e l'unità di tempo oppure come rapporto tra il tempo di riferimento (l'ora) e il distanziamento temporale medio tra i veicoli.

in cui t_m è il distanziamento medio temporale [s].

Nel caso dei convogli, n è il numero di veicoli per convoglio ed N il numero medio di passeggeri per veicolo.

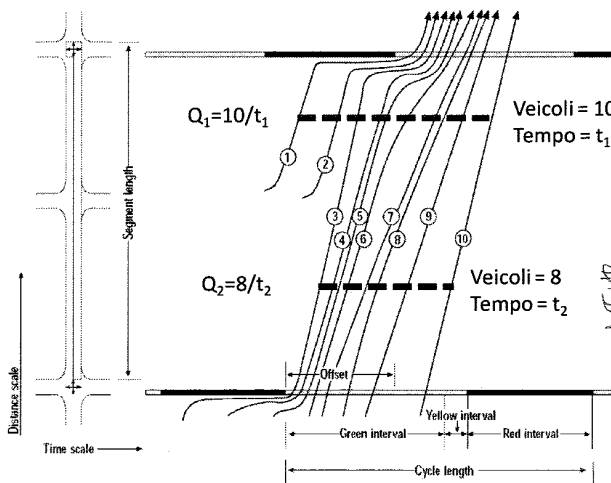
INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #3

15

Il valore del flusso è medio nel tempo. Sto su una sezione misura in th quanti veicoli passano. Posso anche misurare il flusso misurando tra un veicolo e il successivo, qual è il tempo che li separa, accorgo vari dati sul tempo di distanziamento tra uno e l'altro, ne faccio a media e lo rapporto al tempo di riferimento. Se esprimo t in secondi e determino la portata, conto i veicoli nell'ora oppure misuro l'intervallo di tempo tra uno e il successivo e poi medio; così trovo la portata. Questa è la portata delle entità isolate che però, come nel caso dei treni, possono essere raggruppate come convogli. Portate da più ragioni, da più entità. Allora devo moltiplicare per n e N.

Analisi del flusso nei diagrammi spazio-temporali



INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #3

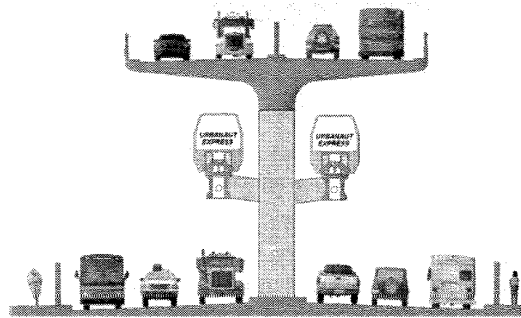
16

offset → serve per generare l'onda verde, allineando da ogni intersezione dove fermarsi.

INFRASTRUTTURE VIARIE

Capacità dei corridoi di traffico

Nelle analisi relative ai corridoi infrastrutturali, l'unità di riferimento è costituita dal **passaggero** e non dal veicolo, e questo per la necessità di trovare un elemento di riferimento comune a sistemi con diverse caratteristiche.



INFRASTRUTTURE
VIARIE

Lezione #3

19

Confronto tra sistemi → devo sostituire i veicoli col n° di passeggeri, omogeneizzare le varie entità col n° di passeggeri (per confrontare per es. traffico stradale e ferroviario) per esprimere la capacità di un corridoio infrastrutturale.

INFRASTRUTTURE VIARIE

Capacità delle strade

Le variabili che condizionano la capacità nei tratti di strada a flusso ininterrotto (tronchi stradali) sono le seguenti:

- numero e larghezza delle corsie, *anche la larghezza della banchina condiziona la capacità → si può maggiore aumentando più rischi, come stare più vicino al veicolo che si ha davanti*
- larghezza delle corsie,
- distanza laterale tra carreggiata e ostacoli (larghezza delle banchine);
- andamento piano-altimetrico della strada;
- composizione del traffico (presenza di mezzi pesanti);
- abitudini/abilità dei guidatori;
- libertà di sorpasso (per le strade a due corsie unica carreggiata);
- limiti di velocità imposti alla corrente.

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #4

3

Capacità delle strade – Manuale HCM (anno 2000)

Highway capacity manual → dal 1950, pubblicato e aggiornato dal Transportation Research Board (TRB). Le ultime edizioni → '84, '90 e 2000. Crea ogni 10 anni → nuova edizione. XXI

Secondo l'HCM del 2000 la capacità di riferimento per diverse tipologie di strada erano quelle di seguito indicate:

- Strade a carreggiata unica a due corsie: **1.700** autovetture/h per direzione, e **3.200 - 3400** per la combinazione delle direzioni;
- Strade a una carreggiata a più di due corsie per senso di marcia:
 $C = 1200 + 10 \cdot VFL$ [autovetture/h/c]
- Strade a due carreggiate e più di due corsie per carreggiata:
 $C = 1800 + 5 \cdot VFL$ [autovetture/h/c]

*(1) Il momento su strada cambia come le infrastrutture → non posso applicare i numeri del 1950 a oggi.
(2) L'analisi è sempre più raffinata → si cambiano ogni tre-tre procedure di calcolo. Si aggiornano procedure di calcolo. Si aggiornano i dati. Si è visto che c'è un legame tra C e VFL. Non c'è una ragione teorica.*

in cui VFL è detta "velocità di flusso libero" [km/h], alla quale i veicoli sono al max distanziamento uno dall'altro, v del veicolo isolato libero di muoversi indisturbato dagli altri veicoli.
Nell'HCM del 2010 questi valori sono stati rivisti (vedi lezione #6).

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #4

4

*VFL indicatore della geometria del tracciato dell'infrastruttura tracciato tortuoso, corsie strette → VFL diminuisce → C diminuisce (e viceversa)
C misurata come AUTOVETTURE/h, con VEICOLI/h → valore più piccolo che occupa una corsia
Veicoli generici → devo conoscere quanti veicoli pesanti: creato → conversione
AUTOMETRURA → per i pesanti
I valori vanno moltiplicati per il carico di pesanti.*

INFRASTRUTTURE VIARIE spazio che è uno spazio di arresto il treno sta nel...

Distanziamento è misurato sullo spazio di arresto V

Garantisce un certo numero di spazi di arresto tra il convoglio che segue e quello che precede. Tale numero è scelto dal gestore dell'infrastruttura (Ferrovie dello Stato). Tale sistema è detto a Blocco Automatico perché il treno non solo deve fermarsi, ma controlla più l'alimentazione → non riesce più ad avanzare, si ferma automaticamente.

N° spazi di arresto dipende da chi gestisce la linea, in Italia 2

160 km/h → spazio di arresto è 1200 m, portato a 1350 m per sicurezza.

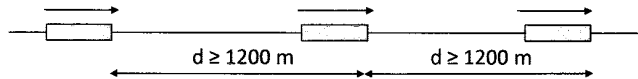
Linee ordinarie separate da sezioni di blocco: lunghezza 1350 m.

convoglio di max V dell'epoca

Intervallo da un segnale semaforico

Capacità delle ferrovie

Il **distanziamento di spazio** è quello considerato sulle linee italiane perché garantisce un più elevato livello di sicurezza. In questo caso le linee ferroviarie sono divise in tratte la cui lunghezza non è inferiore allo spazio di arresto del convoglio più veloce (almeno 1200 m per una velocità di 160 km/h).



Ogni tratta è "protetta" da un segnale di blocco individuato da un semaforo, ed ogni segnale di blocco è preceduto da un segnale di avviso che preavverte il macchinista (la distanza è sempre quella di arresto del convoglio più veloce).

Essi possono presentare i colori:

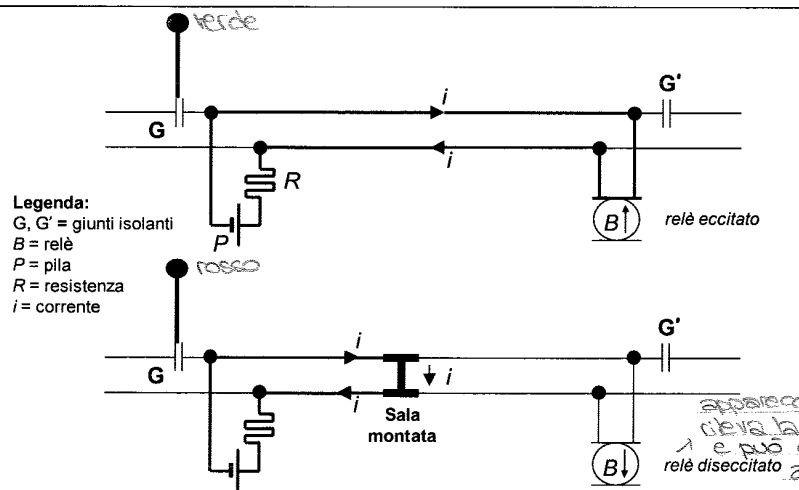
- **verde** (via libera o avviso di via libera) può entrare nella successiva sezione senza aver iniziato a rallentare
- **giallo** (avviso di via impedita) inizia a rallentare
- **rosso** (via impedita) si deve fermare, deve frenare in modo da fermarsi nella sezione di blocco successiva

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #4

7

Capacità delle ferrovie



INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #4

8

quella di coda l'ultima

La linea in automatico dà il segnale → si usa un circuito elettrico chiuso in presenza di almeno una sala montata oppure nell'ambito di una sezione di blocco

Assenza di corrente → semafori tutti rossi

Il circuito è chiuso prima del relè

È un meccanismo che ricevendo o meno corrente modifica a valle, dà un altro impulso elettrico, per es. azionando il segnale di rosso perché sulla sez. di blocco c'è un treno

Quando il relè è eccitato il segnale diventa verde.

... e poi si aziona il segnale di rosso quando il treno è in presenza di un treno in blocco automatico

tra le due rotte che viene

apparecchiatura elettrica che viene la progetto di corrente e può comandare a sua volta altri apparati elettrici

INFRASTRUTTURE VIARIE

Capacità delle linee ferroviarie

Nell'ipotesi di frenatura a decelerazione costante lo spazio di arresto diventa pari a (ipotesi di moto uniformemente decelerato):

$$s_0 = \frac{k \cdot v_{max}^2}{2a}$$

L decelerazione

dove k è un coefficiente di sicurezza moltiplicativo. La rete RFI ha un s_0 pari a 1350 m.

L adottato dalle ferrovie per tener conto per es. della pendenza longitudinale (e altri fattori) → maggiore spazio di frenata

Ritornando all'equazione generale, sostituendo nell'equazione della capacità si ha:

$$C = \frac{3600}{\frac{L}{v_{max}} + \frac{k \cdot v_{max}}{a} + t_R}$$

Per quella v ottengo una C. Ma c'è una max v sulla linea che massimizza C? È un problema di potenzialità della linea.

Capacità delle linee ferroviarie

Il massimo valore della capacità (o potenzialità della linea) si ha rendendo minimo il denominatore del rapporto. Non potendo intervenire sulla quantità t_R , la massima capacità si ha minimizzando una parte del denominatore (D):

$$\frac{dD}{dv_{max}} = \frac{d}{dv_{max}} \left(\frac{L}{v_{max}} + \frac{k \cdot v_{max}}{a} \right) = 0$$

$$-\frac{L}{v_{max}^2} + \frac{k}{a} = 0$$

$$v_{max} = \sqrt{\frac{aL}{k}}$$

valore di v_{max} che massimizza il rapporto

sostituisco v_{max} in C

$$C_{max} = \frac{3600}{\sqrt{\frac{4 \cdot k \cdot L}{a}} + t_R}$$

L decelerazione

Otengo C max per quel valore di v.

massimizzare C → min denominatore → terzo termine è costante, dipende dal macchinista (valore fisso)

Le 2 eqz a dx valgono con l'ip che non ci siano stazioni o che deg. i tempi non si limitino. Valgono per la sola linea. Nelle stazioni l'eqz non vale.

INFRASTRUTTURE VIARIE

Capacità delle piste aeroportuali

La capacità di un infrastruttura aeroportuale, intesa come massimo numero di operazioni (atterraggi, decolli) che possono essere eseguiti nell'unità di tempo nello scalo, è condizionata da:

- condizioni meteorologiche; *vento trasversale, temporale*
- capacità del piazzale di sosta;
- disponibilità di vie di circolazione e piste di rullaggio;
- capacità delle piste di volo;
- tipo e prestazioni dei velivoli in fase di atterraggio e decollo.

Regola aeronautica fondamentale:

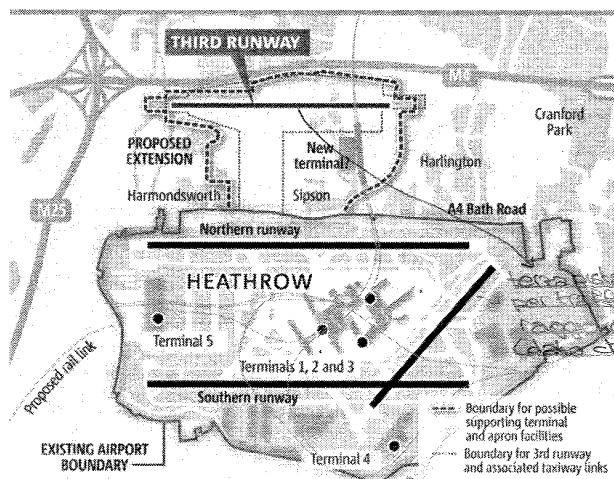
Per ragioni di sicurezza gli atterraggi hanno la precedenza sui decolli.

INFRASTRUTTURE
VIARIE

Lezione #4

15

Accrescere la Capacità delle piste aeroportuali significa disporre di più piste nella stessa direzione.



una pista per accrescere la capacità. Sarà per il tipo di velivoli di medio-corto raggio. Il lato più corto (quello che è più corto) di lunghezza superiore

INFRASTRUTTURE
VIARIE

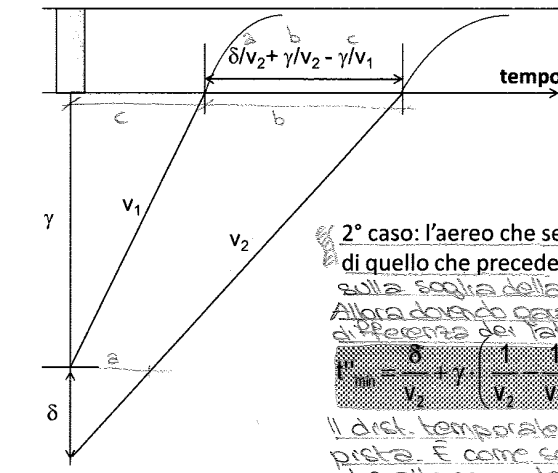
Lezione #4

16

INFRASTRUTTURE VIARIE

δ in ingresso → il dist. temp. minimo, misurato sempre, sulla soglia della pista

Capacità delle piste aeroportuali



2° caso: l'aereo che segue è più lento di quello che precede: ciò dà luogo a un δ che non è applicato sulla soglia della pista, ma alla porta d'ingresso (gate). Allora dovendo garantire δ , il dist. temporale minimo è la differenza dei lati dei due triangoli:

$$t_{min} = \frac{\delta}{v_2} + \gamma \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right) \quad \text{per } v_2 < v_1$$

Il dist. temporale è sempre misurato sulla soglia della pista. È come se fosse la sezione in arrivo i velivoli che atterrano dovendo garantire il dist. δ con il minimo δ

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #4

19

Capacità delle piste aeroportuali

velivoli dello stesso tipo → circa stesse v di atterraggio. Più o meno 4 famiglie di velivoli

Per la determinazione della capacità per la manovra di atterraggio con composizione eterogenea del traffico, i velivoli sono raggruppati in categorie di velocità:

$$(v_1, v_2, \dots, v_n)$$

Per ciascuna delle combinazioni tra le categorie è determinabile il minimo distanziamento temporale (t). Il complesso dei valori desunti può essere espresso in forma matriciale (t_{ij}):

$$[t(v_i, v_j)] = t_{ij}$$

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #4

20

INFRASTRUTTURE VIARIE

mat → calcolatrice



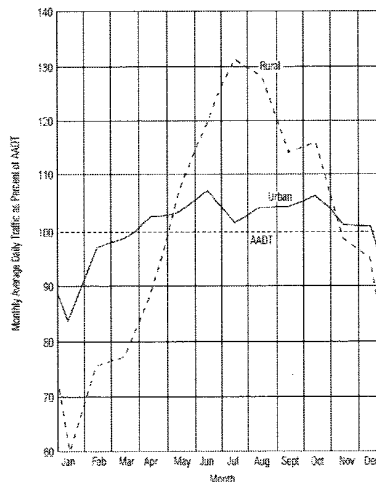
Le strade non sono progettate alla capacità, altrimenti saremmo vicini alle condizioni di non servizio che sarebbe ricorrente. Stendiamo la capacità per garantire un'adeguata qualità del servizio offerto all'utente, dobbiamo far fare le infrastrutture in modo un po' più scarico rispetto alle condizioni limite.
 La domanda non è costante durante la giornata. Le condizioni di max domanda sono limitate nel tempo, si possono verificare...

Deflusso stradale

Lungo le strade la domanda varia nello spazio e nel tempo. Per quanto riguarda il tempo:

- nei diversi mesi dell'anno;
- nei giorni della settimana;
- nelle ore della giornata;
- nei singoli minuti (o periodi) di una qualsiasi ora (comprese le ore di punta). a seconda del tipo di strada

I dati sono della stessa strada in due tronchi differenti:
 - 1.6 km interni ad un quartiere commerciale di una ampia area metropolitana;
 - 80 km di strada extraurbana lungo un itinerario turistico-commerciale.



valore medio dei servizi dell'anno

INFRASTRUTTURE VIARIE

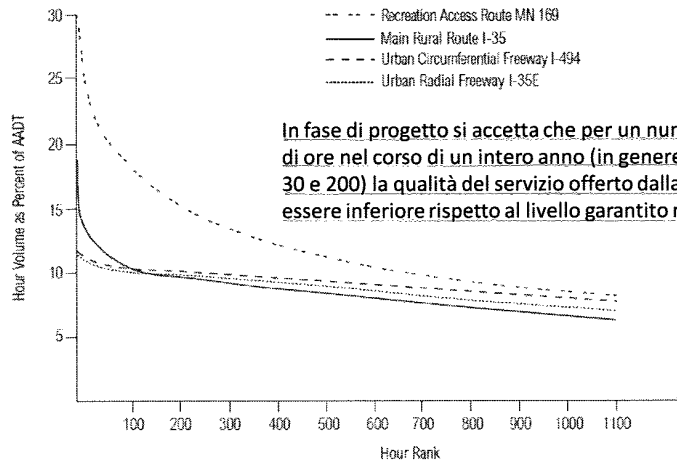
Lezione #5

2

La domanda di mobilità evolve continuamente nell'anno, mese per mese, nella giornata della settimana.

INFRASTRUTTURE VIARIE

Scelta dell'ora di punta su base annua



sezione stradale = conto i veicoli che transitano lì per lì durante un intero anno → circa 8600 dati (24 · 365)
 Prendo le ore più trafficate, ordino le ore dalla più o meno trafficate alla meno traff. → curva decrescente, bilatera
 5 molto e meno percent

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #5

Gobba vicino allo zero. Tra la 30° e la 40° ora di punta → gobba
 Progettare alla capacità → prendo la condizione di punta → 4h su 8600 in cui si forma un po' di coda. Non ha senso. È un sovradimensionamento. 1° corsio 1 territorio consumato. Posso accettare di riprogettare la domanda per capire lì nell'arco dell'anno → rispetto alle risorse disponibili.
 Progettare alla 30° o 100° ora di punta per non sovradimensionare le opere stradali.
 Come calcolo la 30° ora di punta? Si considera il traffico giornaliero medio su base annua TGMA (traffico dell'anno / 365 giorni). È un dato stimabile o misurabile perché è la domanda

Volume orario di progetto per direzione

Il volume orario di progetto (VHP) si determina noto il traffico medio giornaliero su base annua (TGMA):

$$VHP = TGMA \times K \times D$$

- K esprime la percentuale di traffico transitante nell'ora di punta, numero di momenti nell'h di punta di quel giorno medio
- D la massima percentuale del traffico nella direzione più trafficata dell'ora di punta. Difficile avere nell'ora di punta lo traffico da entrambe le parti → è un'ora di punta (mattino → ingresso nella città) (sera → uscita)

Freeway Type	D-Factor	Area Type	K-Factor
Rural-intercity	0.59	Urbanized	0.091
Rural-recreational and intercity	0.64	Urban	0.093
Suburban circumferential	0.52	Transitioning/Urban	0.093
Suburban radial	0.60	Rural Developed	0.095
Urban radial	0.70	Rural Undeveloped	0.100
Intraurban	0.51		

coefficiente di distribuzione

nelle 2 direzioni

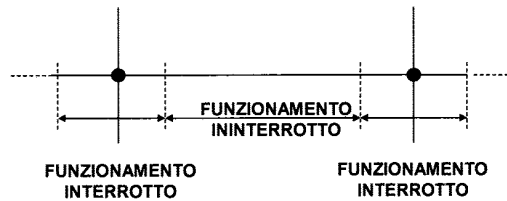
INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #5

K assume valori nell'intervallo 0,1 a seconda del tipo di strada.
 → il 10% del traffico giornaliero passa nell'ora di punta (percent of daily traffic)
 6 4 redi dice 4

INFRASTRUTTURE VIARIE

Teoria del deflusso stradale *si applica ai tratti a funzionamento interrotto / ininterrotto*



Ricordiamo che il flusso:

- interrotto;
- ininterrotto.

Nel seguito facciamo riferimento a quest'ultimo caso.

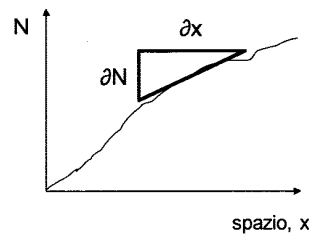
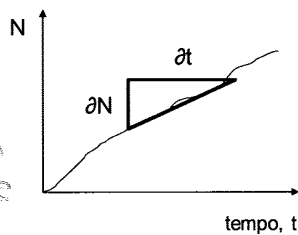
*interrotto tra due intersezioni semaforizzate → cond. di flusso ininterrotto
 di questo tronco considero che
 Idealmente mi posiziono in un tratto di strada K sezione = conto il n. di veicoli che transitano nel tempo
 Fisso la sezione, lo spazio x e ho guardato cosa accadeva nel tempo.
 Fisso l'istante, il tempo e rendo variabile, faccio spostare la sezione, lo spazio. Ogni volta che la sezione
 tocca un veicolo conto uno. Lo posso fare con una foto dall'alto, ma non è fattibile
 posso esprimere il conteggio variazione del veicolo con il tempo.*

Teoria del deflusso ininterrotto

*Pendenza locale = derivata
 parziale perché ho 2 var
 (x e t)*

*$\frac{\partial N}{\partial t}$ variazione del numero
 al variare del tempo → è il
 flusso, il volume, ma Q non
 è costante, è continuamente
 variabile*

*$\frac{\partial N}{\partial x}$ flusso, portata volume
 di traffico*



*$\frac{\partial N}{\partial x}$ quantità riferita allo
 spazio → densità veicolare*

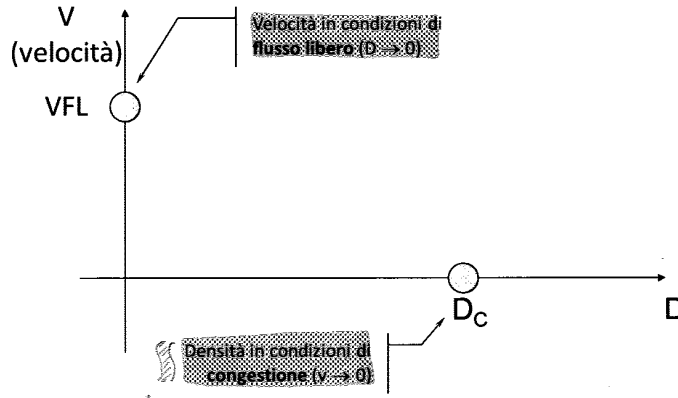
Definizioni:

$N(x, t)$ = funzione che esprime il numero cumulato di veicoli che *nel tempo* transitano attraverso una sezione al crescere del tempo - $N(t)$ - o che sono presenti all'interno di un tronco di dimensione x crescente - $N(x)$ -

INFRASTRUTTURE VIARIE

Corrente troppo densa → corrente immobile

Teoria del deflusso ininterrotto

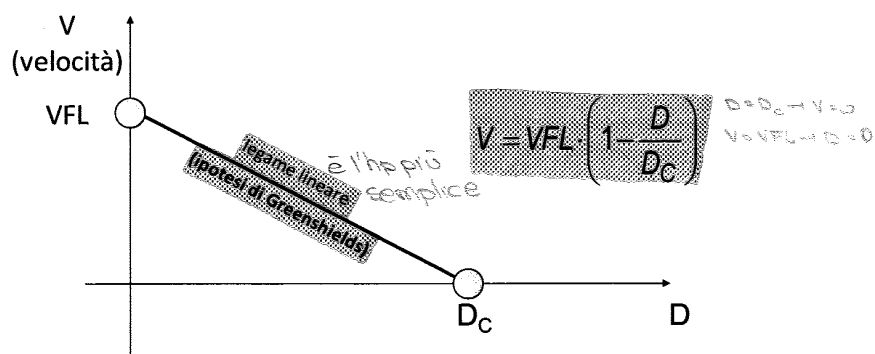


INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #5

13

Teoria del deflusso ininterrotto



Da ciò si evince che esiste un legame funzionale tra le grandezze, o anche che la velocità non è una variabile indipendente. → se sostituisco la velocità espressa in $Q = Dv$...

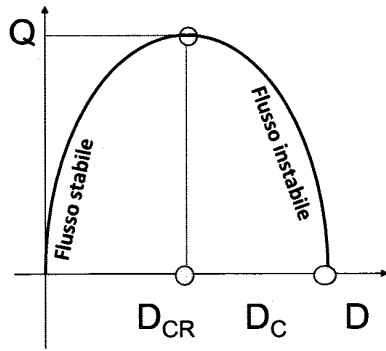
INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #5

14

INFRASTRUTTURE VIARIE

Rapporto portata - densità



Flusso stabile non saturo

per $0 \leq D < D_{CR}$:

corrente poco densa → cambio corso → v non cambia, non crea perturbazioni

L'incremento di D produce un aumento di Q, questa perturbazione si propaga nella direzione del flusso

Flusso instabile soprasaturo

per $D_{CR} \leq D < D_C$:

corrente così densa che tra i veicoli nascono interazioni che rendono instabile il flusso

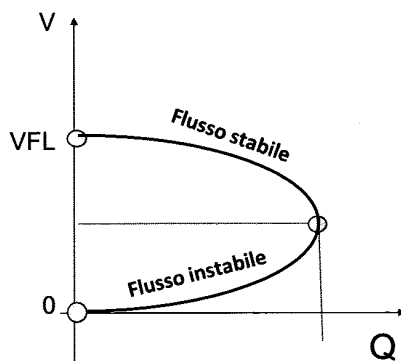
L'incremento di D produce una diminuzione di Q, questa perturbazione si propaga nella direzione opposta al flusso

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #5

17

Rapporto portata - velocità



Nel piano V-Q:

$$V = VFL \cdot \left(1 - \frac{D}{D_C}\right) \quad \text{risolto } D(V)$$

$$D = D_C \cdot \left(1 - \frac{V}{VFL}\right)$$

$$Q = V \cdot D_C \cdot \left(1 - \frac{V}{VFL}\right) = D_C \cdot \left(V - \frac{V^2}{VFL}\right)$$

ottengo sempre una parabola ma ad asse orizzontale.

*bassa Q
bassa D
v di flusso libero*

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #5

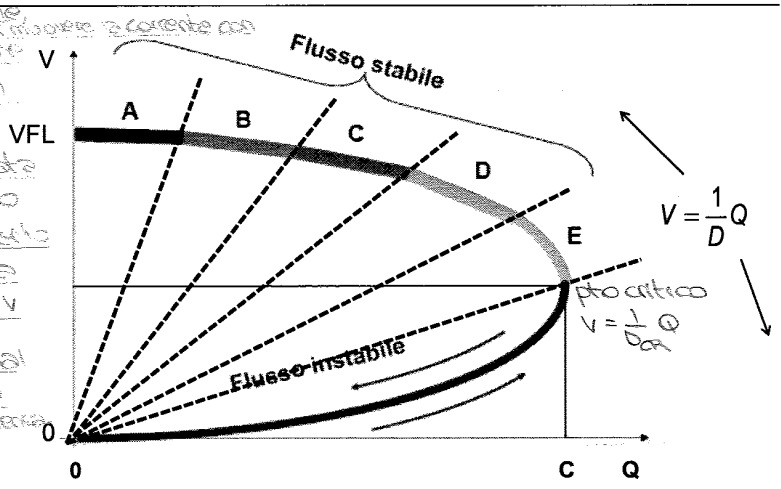
18

INFRASTRUTTURE VIARIE

Come legge su V, Q la densità? $Q = vD \rightarrow v = \frac{1}{D} Q$ retta nel piano V, Q , è un fascio di rette centrato nell'origine, c'è solo il coeff. angolare $\frac{1}{D}$. Pendenza rette = inverso di D . Questo fascio di rette al crescere di D come si sposta?
 $D \rightarrow 0$ verticale
 $D \rightarrow \infty$ tende ad appiattirsi, ad essere molto prossima a D , diventa l'asse
 $D = D_{cr}$ densità nel pto critico

Livelli di servizio

Quando progetto voglio garantire un flusso stabile in buon comfort $\rightarrow v$ vicino alla v di flusso libero con 2 basse) $P_{max} = C$ capacità valutata con la teoria del deflusso voglio garantire una buona qualità del movimento $\rightarrow 1^o$ corso per ridurre la densità e aumentare la v molto superiori a v_{cr} a quelle garantite dal calce della strada VFL in una corrente precedente



Il fascio di rette ottenuto per valori di D minori, intercetta il tratto di curva stabile segmentando la curva in tratti a cui va associato per scelta una lettera. Strada extraurbana secondaria al livello di servizio C o D, voglio garantire una buona qualità del deflusso.

Autostrada \rightarrow progetto \rightarrow voglio garantire il livello di servizio B, elevata. con progetto per flussi instabili.

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #5

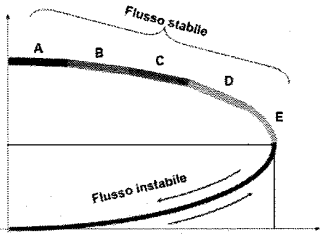
21

è una curva teorica che rappresenta tutte le combinazioni. D si ottiene facendo passare per un pto generico della curva una retta per l'origine \rightarrow calcolo il coeff. ang. \rightarrow l'inverso è D . La qualità del servizio cambia a seconda del pto. In caso B è un deflusso ad alta velocità, Q bassa e D bassa \rightarrow buona qualità A del flusso. A \rightarrow alta. Poi Q e D crescono. Superato il pto critico progressivamente $Q \downarrow$, corrente sempre più densa. $Q \rightarrow 0$ questo livello sono così vicini da non riuscire a muoversi. I vari tratti sono stati stabiliti in numero di 5 in modo arbitrario il sesto è il flusso instabile: qualunque perturbazione, anche solo un cambio di corsia, produce un effetto che si propaga all'indietro.

Livelli di servizio

è quello che regge l'attesa e non tutti quelli dietro \rightarrow si arriva a un veicolo che si ferma. Poi si muove e così via. Aspetta anche negli incidenti dove D cresce. Non c'è nessun incidente semplicemente la corrente è troppo densa. È il fenomeno dello stop & go (es: dati care al ritorno dalla Val d'Aosta)

- Sono individuati sei livelli di servizio:
- LdS A – Flusso libero
- LdS B – Flusso stabile ad alte velocità
- LdS C – Flusso stabile a medie velocità
- LdS D – Flusso in avvicinamento a cond. di instabilità
- LdS E – Flusso instabile a bassa velocità
- LdS F – Flusso forzato (instabile)



I livelli di servizio sono individuati da una lettera. E è presente alla capacità, è un'instabile. Un es. di E è sulla strada target zone. Livelli che cambiano creata situazioni. Il livello di servizio è un indicatore qualitativo del movimento.

LdS / LdS
 livello di servizio

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #5

22

INFRASTRUTTURE VIARIE

Livelli di servizio



ILLUSTRATION 13-9. LOS E.

Flusso al limite di instabilità con condizionamenti molto forti ($Q/C \approx 1$)

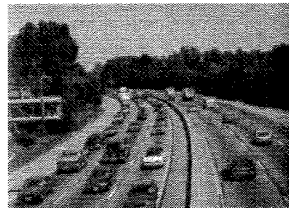


ILLUSTRATION 13-10. LOS F.

Flusso forzato con frequenti e imprevedibili arresti della corrente (fenomeno detto stop & go)

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #5

25

Livelli di servizio e dimensionamento della sezione stradale

Nel progetto delle nuove strade sono da soddisfare i seguenti requisiti in termini di qualità del servizio offerto:

La qualità del servizio offerto dipende dalla composizione della sezione stradale e dal numero di corsie.

Tipo di strada		LOS minimo
Autostrade	extraurbane	B
	urbane	C
Strade extraurbane principali		B
Strade extraurbane secondarie		C
Strade urbane di scorrimento		E
Strade urbane di quartiere		E
Strade locali	extraurbane	C
	urbane	E

Le infrastrutture sono progettate per garantire un buon LOS. Dove si prevedono situazioni di congestione...

Una corsia per senso di marcia (c.a.) se si dovesse salire in corsia si passerebbe ad un altro tipo di strada.

() Il servizio E, il livello della capacità, perché in ambiente urbano lo spazio è limitato e ha un valore (*).*

Alcune tipologie di strada sono a composizione fissa (*), altre a composizione variabile.

Lo stabilisce la natura delle sezioni modulari - poter cambiare il numero di corsie per i vari tipi di strada.

INFRASTRUTTURE VIARIE

Lezione #5

26

*sezioni a composizione modulare - numero di corsie (autostrade) o il progetto di un'autostrada può aggiungere moduli per garantire un certo livello di servizio. Sono quelle senza *. Ciò vale anche per i valti (non mono di 1, ma quattro no servizio)*