



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1702A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Aimar Mauro

MATERIA: Infrastrutture viarie - prof. Bassani (2015)

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.**

Introduzione

Sistema di trasporto:

è l'insieme delle componenti che realizzano il sistema di trasporto x persone e/o merci in un certo ambiente (urbano o extraurbano)

↓
è tutto ciò che consente di muoversi

Esso è costituito da

→ ELEMENTI FISICI, che possono essere

→ FISSI cioè l'infrastruttura = supporto fisico statico su cui si muovono le entità e dà supporto a circolazione libera o a via guidata

→ DINAMICI

→ RISORSE UMANE, cioè operatori, guidatori, passeggeri (il pedone è sia elemento fisico dinamico sia risorsa umana), manutentori, ingegneri, amministratori, etc.

→ REGOLE codificate con piani di emergenza, assegnazioni di equipaggio, Codice della Strada (x strade)

L'insieme di tutto questo forma il sistema di trasporto.

In ingegneria, ci si occupa degli elementi fisici statici (gli altri aspetti non contano in modo preponderante), x cui si progetta l'infrastruttura ma non si possono trascurare le altre componenti.

Ad es sulle entità in movimento non interessa tanto ~~ve~~ come si muove.

Sulle infrastrutture si vedranno delle entità in ~~transito~~ transito (cioè quelle in moto) e queste sono legate dai sistemi di controllo e di comunicazione relativi alle singole entità (es. dispositivi di guida come GPS, etc.) o alle ~~loro~~ entità nel loro complesso (sistemi di segnalamento, impianti semaforici, etc.)

⇒ ~~ci~~ si concentra sul dimensionamento ^{della struttura} ma si ragiona anche sul sistema



Il primo grande salto epocale è stato fatto da McAdam: questo ha tolto i blocchi di pietra, tra l'altro in adatti verso la pavimentazione perché, quando si crea un punto di contatto, la sollecitazione indotta dal traffico è più alta e la deformazione è maggiore. Questi sono stati sostituiti con piccole pietre spaccate, stese sulla superficie inclinata e compatte con rullaggio. Così le particelle sono vicine tra di loro e non si spostano quando il traffico passa sopra.

Alla fine del XIX secolo, s'introdusse la vettura e la soluzione di prima divenne inefficace. Se infatti, nella carrozza la ruota è trascinata, ora per la prima volta la ruota è motrice. Quando è così, la ruota trasferisce un'azione orizzontale e ciò sconvolge le particelle, se queste sono slegate.

Per questo si cominciò a usare materiali legati, dotati di un grado di coesione (che tiene insieme le particelle) e si introdusse l'ASFALTO, oggi detto conglomerato bituminoso:

è una MISCELA DI AGGREGATI CON BITUME (parte più pesante del greggio di petrolio)

↓ del resto, proprio in quel periodo s'introdussero materiali legati come il conglomerato cementizio (con cemento)

Inoltre, ci fu un'evoluzione nella GEOMETRIA.

A Roma, le traiettorie erano rettilinee (erano le più dirette e veloci) con poche e strette curve.

Atteso la velocità cominciò a diventare una variabile del processo e si pongono nuovi problemi dal punto di vista geometrico, legati al raggio di curvatura.

Come modello di riferimento, si prese un altro tipo di infrastruttura in cui tale problema era già stato risolto, cioè la ferrovia. In essa si sopraeleva la parte esterna e si adotta un certo raggio di curvatura, in modo da equilibrare la forza centrifuga.

⇒ si esportò il modello ferroviario all'ambito stradale, applicando regole di progettazione ferroviaria (percorso tendenzialmente rettilineo, con poche curve adeguate)

Lorenzoni introdusse un modello di curva a raggio variabile (curve progressive), in cui non c'è più un attacco diretto tra curva e rettilineo ma si favorisce l'inserimento graduale del veicolo nella curva.

SITUAZIONE ATTUALE:

oggi la rete è suddivisa a competenza amministrativa, cioè esiste una suddivisione di tipo amministrativo, che indica l'ente proprietario

→ AUTOSTRADE, appartenenti allo Stato ma quasi tutte in concessione

→ STRADE STATALI, appartenenti allo Stato

→ STRADE REGIONALI, di competenza delle regioni

→ STRADE PROVINCIALI, di competenza delle province

Oggi c'è una densità di strade di $1,6 \text{ km/km}^2$, con una rete molto estesa e diffusa, avente addensamenti.

Le carreggiate sono separate da margini

→ MARGINE INTERNO: separa carreggiate percorse in direzione opposta

→ MARGINE LATERALE: separa carreggiate percorse nella stessa direzione (es. controriali)

→ MARGINE ESTERNO: separa la carreggiata dal resto del territorio

Fasce di pertinenza: esse comprendono innanzitutto le SCARPATE, che partono dalla carreggiata e vanno verso l'esterno.
Inoltre hanno il MARCIAPIEDE, che è presente in città.
I pedoni, fuori dalle città, possono circolare sulle BANCHINE, che sono spazi liberi fissi che separano la carreggiata da ostacoli esterni e su cui non si può mettere nulla. Esse servono anche a correggere traiettorie perse durante la marcia. A volte, esse sono così larghe da consentire la sosta di emergenza (x le autostrade).

Piattaforma: è la parte della sede stradale comprendente carreggiata, banchine, etc.
Essa non comprende i margini esterni, poiché questa è la parte compresa tra i cigli pavement più esterni della sede stradale.
Se le carreggiate si separano, si parla di 2 piattaforme

↓
la piattaforma è tutto quello che sta sullo stesso piano

Si può notare che le strade hanno un confine, identificato mediante un recinto, un segnale a terra o un fossato di guardia ed è l'elemento di separazione tra la strada e le altre proprietà.

In questo senso, la strada è la zona compresa tra i due confini.

In fine le strade si portano dietro le fasce di rispetto:
sono fasce in cui la proprietà non è del gestore ma di altri ma in cui la proprietà è vincolata nell'apertura di canali e di attività, secondo il codice della strada.

↓
x la sicurezza e la proprietà dell'opera.

OSSERVAZIONE: in realtà, esistono situazioni diverse dal codice stradale, cioè esistono situazioni difformi perché costruite prima dell'emanazione della normativa attuale.

Ad es. prima, x convenienza, si poteva evitare di aggiungere la banchina in galleria perché 3 m di banchina su 10 m non sono il 30% di costo in più ma molto di più.

A partire da queste funzioni, si possono fare diverse combinazioni

→ strade che favoriscano tanto il movimento e, a logica (dal punto di vista della sicurezza) si sfavorisce l'accesso, condizionato o limitabile

⇒ STRADE PER TRANSITO e SCORRIMENTO (non c'è accelerazione laterale) che sono strade di rango 1.

→ strade che favoriscano tanto l'accesso e non presentano alte velocità nel traffico di attraversamento

⇒ STRADE DI ACCESSO (sono strade locali) non destinate all'attraversamento di porzioni del territorio. Si parla di strade di rango 4.

Esistono poi situazioni intermedie, dove le strade hanno funzioni miste di attraversamento e di moto trasversale

→ strade di rango 3 : sono STRADE DI PENETRAZIONE nel territorio e nella zona urbana (favoriscono più l'accesso)

→ strade di rango 2 : sono all'ingresso di città e sono STRADE DI DISTRIBUZIONE, poiché distribuiscono i flussi su altre infrastrutture in modo che, arrivando, si percorrano strade il cui rango diminuisce progressivamente (qui si favorisce più il movimento).

il rango 2 ↓ e 3 consente l'accesso e l'attraversamento, ma in maniera diversa tra di loro

Queste definizioni sono nelle norme internazionali e costituiscono criteri di validità generale di definizione sia in ambito urbano che extraurbano.

→ esiste poi non una distinzione delle strade a livello costruito o naturale ma il metodo di classificazione dipende dal contesto in cui si fa l'analisi. Si parla di

→ strade urbane : sono strade collocate in centri urbani e che hanno relazioni con il costruito. Devono esserci forti relazioni e degli accessi con la superficie edificata (non basta attraversare il perimetro).

↓
centro abitato:

è l'insieme con più di 25 fabbricati (civili o industriali), eventualmente intervallati da strade, piazze, etc., che formano un insieme continuo e perimetrabile.

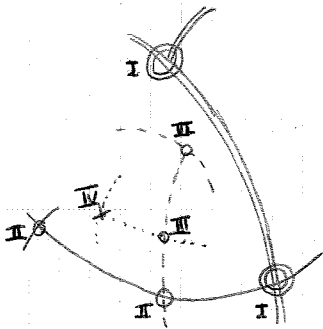
La strada che vi passa in mezzo è una strada urbana e richiede il MARCIAPIEDE.

Inoltre il centro abitato va delimitato e indicato al guidatore perché a causa del moto pedonale ben definito, lì ci sono diverse regole e i limiti si riducono.

→ strade extraurbane ; sono strade al di fuori dei centri abitati.

6 Intersezioni:

l'organizzazione spaziale delle strade di diverso rango, in linea di principio, è fatta in un certo modo, secondo una certa rete e nodi, detti intersezioni



Anche le intersezioni seguono un rango (da I a IV), che coincide con il RANGO PIÙ ELEVATO DELL'ARCO CHE CI ENTRA

→ RANGO I (PRIMARIO): tra due strade primarie o una primaria e secondaria

→ RANGO II (PRINCIPALE)

→ RANGO III (SECONDARIO)

→ RANGO IV (LOCALE)

Questa organizzazione (ideale) di rete è fatta secondo un PRINCIPIO DI ORGANIZZAZIONE A RANGHI di reti diverse:

in essa ci si muove da un punto all'altro, passando da un rango al successivo senza fare salti (dal primo al secondo al terzo al quarto).

Questa è un'organizzazione ideale e significa specializzare le infrastrutture e le funzioni che esse hanno.

Dunque bisogna ispirarsi nel modo migliore possibile a questi principi, anche se i salti di rango esistono e sono ammessi. Tra l'altro, il salto di rango avviene solo nelle intersezioni, come ad es. un svincolo primario che collega un asse primario con uno terziario (saltando il livello principale).

7 Occorre ancora definire degli aspetti:

la strada è destinata al moto di entità e queste componenti di traffico, secondo il codice della strada, sono

→ pedoni

→ animali

→ veicoli a braccia e a trazione animale (es. carro), velocipedi, ciclomotori, autoveicoli, autobus e autosnodati (motrice + veicolo trainato), autocarri, autotreni (motrice + rimorchio collegato attraverso un timone), autoarticolati (motrice + semirimorchio che si appoggia su gambette e, una volta staccato, non può più muoversi), mezzi d'opera (cioè mezzi specifici come spazzaneve), macchine operatrici (macchine agricole e da costruzione di strade) e veicoli su rotaia in sede promiscua (= porzione di sede in cui possono andare veicoli e tram).

I veicoli sulle sedi sono → i pedoni non sono ammessi in autostrade sia urbane che extraurbane, poiché non c'è marcia piede

→ autotreni e autoarticolati non sono ammessi in strade locali urbane



questo è il punto di partenza x la progettazione, cioè LA PRIMA COSA DA FARE NELLA PROGETTAZIONE È VEDERE CHI È AMMESSO ALLA CIRCOLAZIONE. Una volta escluso qualcuno, si possono dimenticare le sue esigenze.

8 Sezioni trasversali: ci sono sezioni tipologiche e regolate dalla normativa

→ AUTOSTRADE:

ci sono almeno 2 corsie x carreggiata, a seconda delle esigenze di traffico. La larghezza di ogni corsia è 3,75 m, misurata tra i centri delle strisce (la striscia è a cavallo della misura). Ci sono poi almeno 4 m di margine interno, comprendente un elemento detto SPARTITRAFFICO (realizzato con barriere rigide e flessibili, con vegetazione o meno).

→ in ambiente extraurbano è consentita la circolazione dei pedoni nella banchina

→ STRADE URBANE:

esse possono avere asimmetrie (possono avere diverse soluzioni) e si usano corsie più piccole, x indurre a rallentare (fino a 20 km/h), e non consentire l'accesso agli autotreni.

Inoltre, la dimensione dei MARCIAPIEDI è fissata con un valore minimo (1,50 m), determinata dalle attività laterali. Essa cresce in funzione del tipo di attività di fronte al marciapiede e del flusso pedonale che ci passa.

Inoltre, è meglio separare pedoni e ciclisti x evitare contaminazioni (i pedoni non sono obbligati a circolare sempre, ma possono fermarsi e spostarsi trasversalmente).

3 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO:

I sistemi ordinari si basano sul **CONTATTO RUOTA-ROTAIA**, in cui il binario va a contatto non con la singola ruota ma con la sala montata:

è un **ACCOPPIAMENTO RIGIDO** DI 2 RUOTE che poggia sul binario.

Il binario è la guida ed è costituito da 2 rotaie collegate da un elemento rigido, detto **traversina** (tiene a distanza fissa le due rotaie).

Le ruote sono collegate rigidamente, cioè **NON ESISTE DIFFERENZIALE**, a cui le 2 ruote non possono ruotare con velocità angolari diverse (e questo è voluto).
 Inoltre esse non sono cilindriche ma presentano una **LEGGERA CONICITÀ** nel punto di contatto, con pendenza 1:20. Alla parte esterna presenta una conicità più accentuata e all'interno ha un **bordino**, cioè un risalto metallico a evitare la fuoriuscita della sala del binario (è una garanzia di sicurezza).

Nelle ferrovie una misura fondamentale è lo **SCARTAMENTO** e ne esistono 2 tipi

→ **scartamento del binario:**

è una misura fondamentale e vale 1435 mm. Esso è la **DISTANZA** tra due punti misurabili del binario, cioè **TRA I DUE LEMBI INTERNI DELLA TESTA DELLA ROTAIA** (questi sono sempre i punti di riferimento nelle distanze sul piano orizzontale). Ovviamente non si può ragionare sugli assi della rotaia perché sono difficili da misurare.

→ **scartamento della sala:**
 è la distanza tra le ruote

Le quote, cioè le distanze in altezza e dunque l'**ALTIMETRIA**, si riferiscono al piano del ferro, cioè il piano passante attraverso le 2 superfici della testa del binario.

Inoltre il sistema presenta due piani di simmetria

→ **PIANO DI SIMMETRIA DEL BINARIO** (che è l'asse del binario)

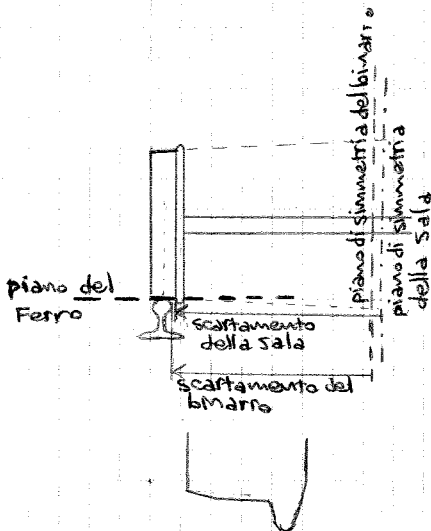
→ **PIANO DI SIMMETRIA DELLA SALA MONTATA**

Questi piani normalmente coincidono, cioè nel rettilineo in condizioni ordinarie. Nella curva, invece, la sala si sposta automaticamente perché lo sviluppo totale in curva della rotaia interna è minore dello sviluppo della rotaia esterna, a lo stesso tratto. Ciò significa che la ruota interna deve compiere un percorso minore della ruota esterna.

La sala consente questo diverso sviluppo perché, sapendo che il numero di giri è lo stesso, la sala si sposta **TRASVERSALMENTE**, facendo fare un percorso più breve alla ruota interna e uno più lungo alla ruota esterna, a parità di giri. Ad es. a una curva verso sinistra, la sala va verso destra.

Ciò è possibile in virtù del diverso diametro dovuto alla conicità

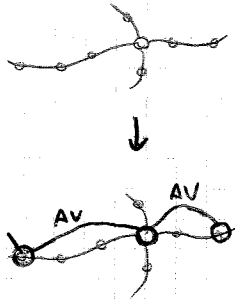
↓
 La sala automaticamente si sposta, non potendo cambiare velocità angolare delle ruote, poiché il sistema è in grado di far cambiare diametro alle ruote.



5 Alta velocità: il primo treno ad alta velocità è stato lo Shinkansen. Convenzionalmente, si parla di alta velocità quando si supera la velocità di 250 km/h. Oggi, il sistema è stato ammodernato e si raggiungono velocità maggiori.

Un grande cambiamento ci fu con l'introduzione del MagLev, sistema che non prevede il contatto e dove si possono raggiungere velocità di 500 ÷ 600 km/h.

Però, perché un sistema ad alta velocità sia efficiente, occorre progettare stazioni lontane e almeno 75 km tra di loro, in modo da raggiungere la velocità massima e il sistema è competitivo entro i 1000 km di distanza.



Però, per tratte brevi, il sistema è troppo costoso anche verso il passeggero, mentre non è realizzabile su tratte lunghe.

Nel sistema MagLev il salto di qualità è stato fatto per motivi tecnici

→ nel sistema ordinario, l'infrastruttura è guida e supporto

→ nel sistema MagLev, l'INFRASTRUTTURA È GUIDA, SUPPORTO E ANCHE MOTORE (spinge anche). Il motore, cioè l'organo che genera energia, è in parte nel veicolo e in parte nell'infrastruttura ed è costituito da avvolgimenti che creano un campo magnetico.



Di conseguenza, l'infrastruttura presenta magneti ed è molto più complessa rispetto a una sede pavimentata o alla sede di un binario. Infatti, c'è un binario ma ci sono una serie di avvolgimenti sul carrello e sulla rotaia e, inoltre, sono presenti ruote di appoggio e di emergenza (per mantenere la giusta direzione ed evitare contatti accidentali).

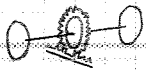
↓
sistema molto complesso e costoso

6 ALTRI TIPI DI SISTEMA FERROVIARIO (ferrovie speciali)

→ **FUNICOLARE:** in esso c'è una fune che trasporta i veicoli e il motore non è nel veicolo ma nell'infrastruttura (sta nelle 2 stazioni). Il sistema è impiegato per brevi distanze e grandi dislivelli, che il sistema ordinario non può superare (per norma, la massima pendenza è 35‰)

↓
la fune è collegata al convoglio (che ha solo carrozze e non la motrice) e lo muove

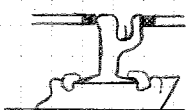
→ **FERROVIA A CREMAGLIERA:** il moto è posto nel veicolo ma l'asse presenta una III ruota, detta **ROCCETTO**, che si ingrana su una III rotaia, detta **CREMAGLIERA** (o **tentiera**), rotaia dentata su cui s'ingrana il roccetto. Da qui si trasmette la coppia motrice e il sistema è usato per alte pendenze.



→ **METROPOLITANA**

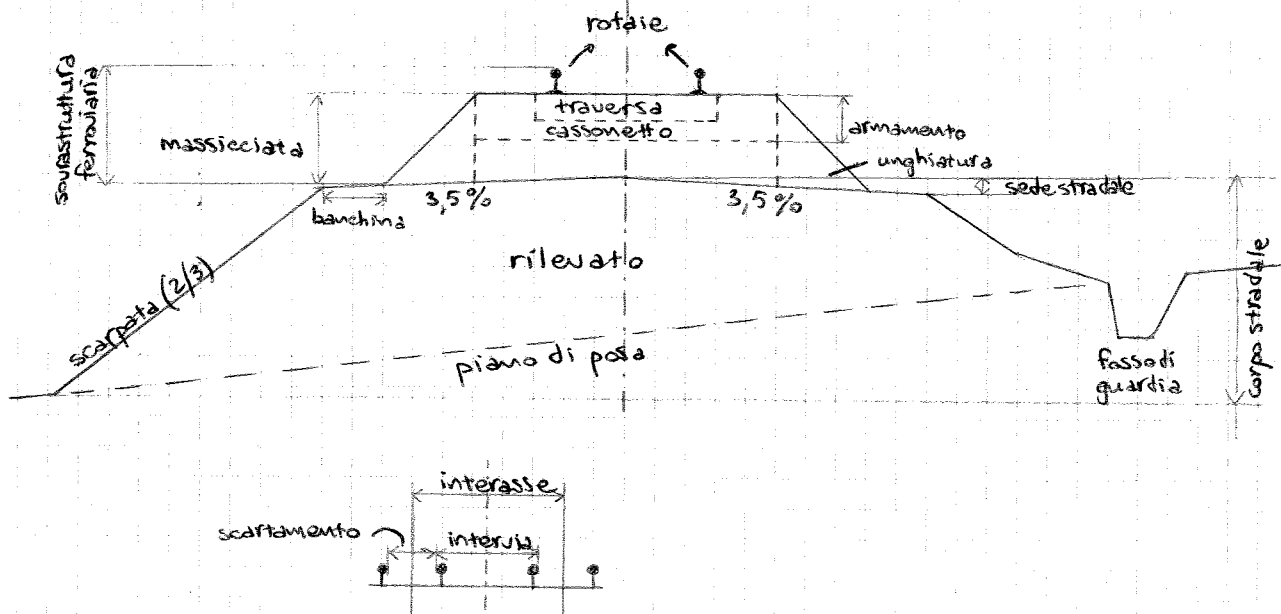
→ **TRAMVIA:**

È una ferrovia speciale che circola in sede stradale promiscua. In essa, cambia il tipo di rotaia, in cui il battente si incurva in un piccolo spazio e il conglomerato bituminoso si raccorda con mastice sigillante alla rotaia. Le traversine sono in blocchi di calcestruzzo o legno.



↓
sono tutti sistemi di trasporto ferroviario perché sistemi a via guidata

8 Sede stradale: è la sede della strada ferrata.



Essa è fatta di elementi, costituiti da rotaie (2 x ogni binario), collegate da una traversa che le tiene a una distanza fissa. La traversa è inserita all'interno della massicciata:

è un volume di pietrisco (blocchi con spigoli vivi) contenente le traverse (sono annegate in esso).

L'insieme di rotaie, traversa ed elementi leganti si dice armamento.

L'armamento, insieme alla massicciata, forma la sovrastruttura ferroviaria. In particolare, l'armatura è inserita all'interno di un cassettono, che è la parte sommitale della massicciata.

La sovrastruttura ferroviaria poggia sulla piattaforma, che è la sommità di un supercompattato e costituisce un rilevato in terra selezionata (se la linea è sopra il piano campagna) o un fondo di trincea (se sotto).

La piattaforma si raccorda con la massicciata attraverso l'unghiatura, che è una superficie inclinata di 45° .

La piattaforma è inclinata di $3,5\%$, poiché l'acqua è libera di passare attraverso la massicciata e, una volta incontrata la piattaforma, deve scivolare trasversalmente, uscire in corrispondenza del piede dell'unghiatura e finire nel Fosso di Guardia, che raccoglie l'acqua proveniente dalla sede stradale e dal pendio. Per questioni di scabrezza, la pendenza non è $2,5\%$ ma $3,5\%$ (scorre diversamente).

Si può notare che il piano di formazione (cioè quello della piattaforma) mantiene sempre la stessa forma, indipendentemente dal tracciato (sia in rettilineo che in curva). Infatti, non è questo che regola l'equilibrio del veicolo (il si inclina la traversa) e, al massimo, la piattaforma si sposta a seguire la sopraelevazione.

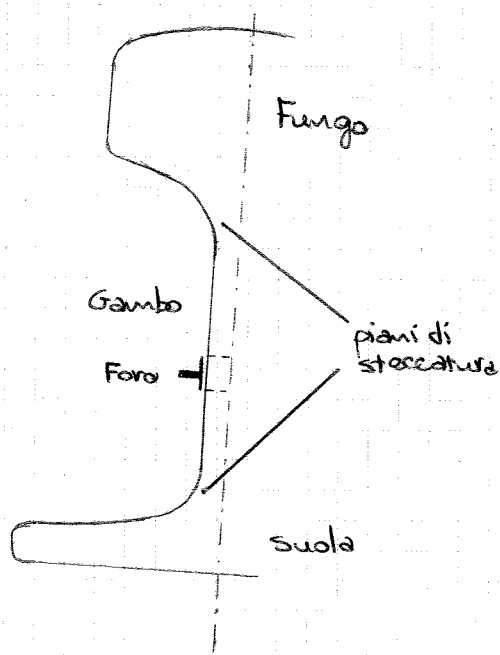
Le scarpate del rilevato hanno un loro piede, in cui c'è il fossato di guardia, necessario a evitare fenomeni di ruscellamento sul terreno naturale che può indurre l'erosione sul piede del rilevato.

In base a tutto questo, si parla di

→ sede stradale: parte su cui poggia la sovrastruttura

→ corpo stradale: parte sotto la piattaforma

9 Rotai a



Essa presenta un profilo caratterizzato da

→ fungo: è la testa e presenta la superficie di rotolamento (o tavoletta di corsa)

→ gamba: essa può essere forata sulle estremità, in modo da collegare in testa due rotaie attraverso una piastra di collegamento vincolata da bulloni che percorrono i fori (così sono vincolati)

→ suola: non è mai orizzontale ma è inclinata di 1:20, in modo che sia inclinata anche l'asse della rotaia.

I piani di raccordo tra ciascuno di questi elementi sono detti piani di staccatura.

Le dimensioni delle rotaie possono essere diverse e cambiare in funzione della tipologia. In Italia si usano le UNI 50 e 60 (dove il numero UNI è il peso/metro lineare).

Le rotaie sono posate sulle traverse e vincolate con

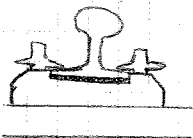
→ posa diretta e attacco diretto:

La suola appoggia direttamente sulla traversa sagomata (posa diretta) medi ante delle CAVIGLIE, cioè chiodi che pizzicano e bloccano sulla traversa (attacco diretto). Il bloccaggio non avviene in tutte le direzioni ma solo trasversalmente (x non cambiare scartamento) e non longitudinalmente. Così si consente la dilatazione termica, x evitare l'insorgere di coazioni che possono rompere il binario (si pizzica).



→ posa indiretta con attacco diretto:

La posa avviene x mezzo di una piastra sagomata e inclinata di 1:20. Tra piastra e rotaia c'è uno spessore coperto di MATERIALE SMORZANTE, x aumentare il comfort del viaggiatore (il viaggio è più "liscio") e ambientale (si smorzano le vibrazioni).



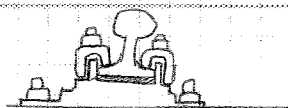
→ posa indiretta con attacco indiretto:

La caviglia che collega la piastra non tocca la rotaia perché ora è il cavallotto che la pizzica.

Così c'è un doppio sistema di collegamento, in cui la rotaia è pizzicata dal cavallotto alla piastra e questa è collegata alla traversa con una caviglia.

Se prima la caviglia aveva la duplice funzione di collegamento della piastra e pizzicamento della rotaia, ora queste funzioni sono separate, in modo da controllare meglio gli organi.

↓
uno pizzica e l'altro collega



AEROPORTI

1 **DEFINIZIONE**; come nelle strade, il sistema aeroportuale è un sistema a circolazione libera, poiché il pilota imposta la traiettoria e la pavimentazione ha solo una funzione di sostegno, ma più che altro interessa la parte di interazione a terra del velivolo.
 Il sistema presenta un controllo della posizione e del movimento dei veicoli sull'infrastruttura da parte dei controllori di volo. A volte, i velivoli sono guidati da un particolare veicolo, che carica il carrello anteriore (che è sterzante).

Le norme che regolano l'aviazione civile sono a livello internazionale (perché molti voli sono internazionali e servono standard uguali) e sono emanate da

→ ICAO = International Civil Aviation Organization

→ FAA = Federal Aviation Administration (USA)

2 PREMESSA STORICA:

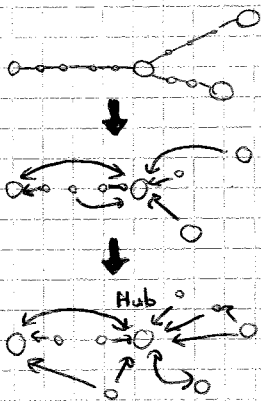
il primo volo è stato fatto dai fratelli Wright nel 1903, a un tempo di 12 s.
 Successivamente, l'aviazione ebbe uno sviluppo rapido, tanto che già nel 1927 Lindbergh riuscì a fare la 2^a trasvolata atlantica ~~veloce~~ con il "Spirit of Saint Louis".

L'aviazione iniziò in campo civile, poi divenne di uso militare (già x la I Guerra Mondiale) e solo dopo si sviluppò la vera aviazione civile, con funzioni di trasporto postale con carichi leggeri (poi più pesanti) e che usavano piste battute in terra e specchi d'acqua.

Oggi è il sistema migliore x i collegamenti intercontinentali, anche se il sistema è molto condizionato dalle condizioni atmosferiche (vento, perturbazioni, etc.). Esso è usato anche all'interno dei singoli stati, ma diventa competitivo solo x lunghe distanze, poiché bisogna salire alla quota di crociera e seguire certi corridoi riconosciuti.

Inizialmente, gli aerei si fermavano a tutte le località poi, x ridurre i tempi, si cominciò a trascurarne alcune e riferirsi a dati aeroporti. Oggi il sistema è organizzato x HUB (aeroporti scelti da una compagnia aerea in cui concentrare la maggior parte dei voli - è un aeroporto di riferimento) - ciò non influisce sull'infrastruttura (è sempre la stessa) ma riguarda solo le rotte e le connessioni tra aeroporti.

↓
 è qualcosa sulla carta



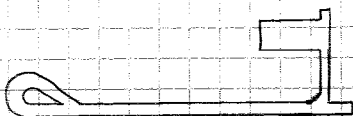
3 STRUTTURA DI UN AEROPORTO:

esistono 2 schemi x gli aeroporti

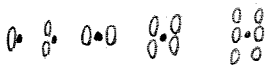
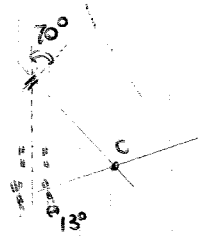
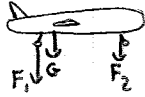
→ aeroporto semplice

In esso un aereo può occupare la pista una alla volta (non più di uno contemporaneamente) e può occuparla in tutte e 2 le direzioni. Quando ciò non è possibile, in genere esistono vincoli ambientali e geografici (es. tutti i collegamenti solo verso sud) che impongono una certa direzione.

In esso, il piazzale di sosta è collegata alla pista di volo (destinata all'atterraggio/decollo), che è anche pista di rollaggio (destinata al movimento a terra). Per questo, il sistema è poco efficiente x l'impegno della pista



→ CARRELLI



Si parla di gamba di forza x indicare lo stello su cui si regge il velivolo e ne esistono due tipi

→ CARRELLI PRINCIPALE:

è il carrello posteriore ed è quello portante in quanto, essendo più vicino al baricentro delle masse (x ragioni di equilibrio, è tra i carrelli ma il carburante è vicino ai motori, posti sulle ali), si porta quasi tutto il carico (90-95%). Ovviamente bisogna sapere dove si scarica il peso x dimensionare le piste

→ CARRELLI SECONDARIO:

è il carrello sterzante. Per poter governare il veicolo in piccoli spazi, è necessario creare un grande angolo di sterzata (70° vs 30° nelle auto) e si cerca di avvicinare il centro di rotazione anche sterzando le ruote posteriori ed evitando lo strisciamento.

I carrelli possono essere organizzati a triciclo (2 sul principale + 1 sul secondario), a quadriciclo (indiviso), a pentaciclo. Le ruote, poi, possono essere organizzate in maniera diversa rispetto alla gamba di forza, come ruota singola, tandem, ruote gemelle, doppio tandem (x aerei pesanti) o triplo tandem (x medio-alta capacità di trasporto e lunghe distanze)

5 Classificazione degli aeroporti:

è fatta mediante un codice alfa-numerico

→ CODICE NUMERICO (1 ÷ 4):

esso si riferisce alla lunghezza di campo caratteristica della pista:

è data dalla minima distanza di decollo dell'aereo critico (= aereo di progetto, che condiziona maggiormente l'infrastruttura - quello x cui si progetta la pista) a massimo carico, a livello del mare, in assenza di vento, in condizioni atmosferiche standard (15°C) e con pendenza longitudinale della pista nulla.

Questo sembra non avere senso perché tali condizioni sono irrealizzabili ma serve x classificare il territorio. Infatti, si possono confrontare piste diverse?

Al variare delle condizioni (altitudine, aria, etc.), cambiano le prestazioni dell'aereo. Ad es, può diminuire la densità dell'aria, x cui c'è meno attrito in decollo ma si riducono le prestazioni dei motori x carenza di ossigeno.

Così non si può confrontare direttamente e il confronto diventa possibile quando si riportano le misure a un riferimento nell'infrastruttura.

↳ si confronta la geometria ma in condizioni standard

Tale codice così si riferisce all'offerta della PISTA DI VOLO, x atterraggi e decolli

→ CODICE ALFABETICO (A ÷ F):

esso si riferisce alle PISTE DI RULLAGGIO e considera la larghezza alare e lo scartamento (= larghezza tra i bordi esterni del carrello principale, cioè massima ampiezza del carrello più grande, che dev'essere tenuto nella pista) dell'aereo critico.

CALCOLO FUNZIONALE PER LE INFRASTRUTTURE

1 Nell'ambito delle infrastrutture, occorre introdurre il concetto di DOMANDA - OFFERTA nel sistema di trasporto:

l'insieme delle infrastrutture presenti in una porzione di territorio quantifica l'offerta di mobilità A (è l'insieme di sistemi che consentono di muoversi) e questa dev'essere in equilibrio con la domanda, cioè il volume di traffico (insieme degli elementi che si spostano)

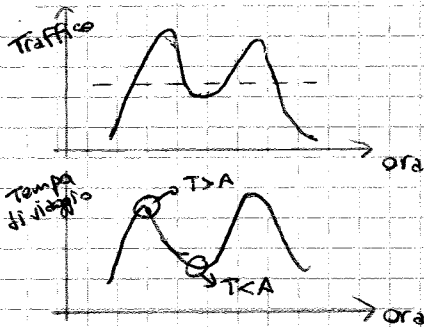
$$A \geq T$$

→ l'ideale è $A \gg T$

→ bisogna soddisfare l'equilibrio e garantire certe condizioni

Quando accade il contrario, tipicamente si hanno più persone e veicoli che si spostano rispetto alle possibilità e si assiste alla formazione di code e all'incremento dei tempi di viaggio.

2 INTRODUZIONE GENERALE



Oggi, nell'arco della giornata, in ambito soprattutto urbano, esistono delle ORE DI PUNTA al mattino e al ritorno pomeridiano-serale. La realtà, ovviamente, è più complicata ma in genere c'è questo comportamento con 2 picchi. Le zone più basse sono dette ORE DI MORBIDA. Se si facesse un confronto con l'offerta, si noterebbe che nei picchi c'è il superamento del massimo rispetto alle risorse effettive. Del resto, quando $T > A$, si ha un incremento di tempo a parità di tratta considerata.

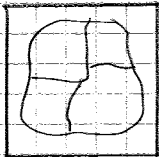
Questi sono problemi che l'ingegneria dei trasporti affronta, in modo che i sistemi di trasporto svolgano al meglio il loro compito. Le strade, infatti, non sono fatte solo x collegare ma bisogna conoscere le aree e le attività umane in esse x poter garantire determinati tempi di collegamento, comodità e sicurezza.

la delimitazione spesso avviene x amministrazione (poco utile) o x USO DEL TERRITORIO (centro storico, etc.). Questo però è complesso perché soprattutto in Europa i diversi usi si mescolano

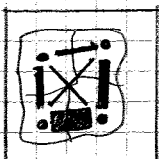
Per questo motivo, si realizzano schemi in cui si fa una delimitazione dell'area di studio e una sottodelimitazione, x poter definire le aree di studio.

Ad es si può dividere una città in quartieri. La mappa però può anche rappresentare il territorio di uno stato suddiviso in regioni dove si evidenziano capoluoghi e linee area e, intanto, dal punto di vista matematico, non cambiano niente.

la tecnica si applica a qualunque sistema di trasporti e il problema può riguardare un sistema o più sistemi di trasporto messi insieme



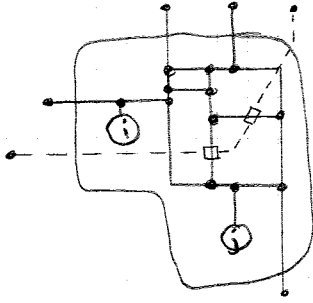
Le sottoree sono definite secondo certi criteri in cui si cercano proprietà di omogeneizzazione (es. centro storico, area residenziale e industriale) e ciascuna area ha connotazione specifica. Questa suddivisione permette di capire quando è più probabile che venga generata una domanda di mobilità e quando questa venga accolta.



Poi si studiano le relazioni tra le sottoree, in cui si studiano il movimento e la quantità di mezzi che si spostano. Qui si individuano dei punti rappresentativi, detti centroidi, e questi sono connessi mediante delle linee che, idealmente, identificano la quantità di movimento (ma non l'infrastruttura)

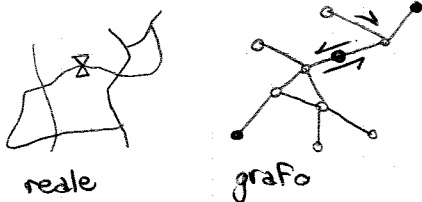
→ le relazioni sono tanto più forti quanto sono più vicine (infatti si parla di modello gravitazionale nel senso che è più probabile che si vada x fare qualcosa nel posto più vicino)

2 Ora, si vuole trascurare l'ingegneria del traffico e focalizzarsi solo sull'infrastruttura.



Si è appena vista che la rete infrastrutturale è idealizzata come un grafo, in cui spiccano i nodi (intersezioni), che possono essere modali e intermodali (collegano modi di trasporto diversi). Tali nodi sono collegati da archi, in cui ci sono i centroidi, cioè punti immaginati come zona di partenza e arrivo.

Qui non interessa la geometria via le connessioni, a cui si usa una rappresentazione non reale ma semplificata della rete reale, in cui si vede la relazione tra i nodi.



⇒ il grafo presenta una rappresentazione mediante rami e nodi e questa impostazione è di tipo matematico.

I rami possono essere orientati (con senso unico) o meno.

I nodi possono essere intersezioni (connessioni tra reti), centroidi (punti di generazione e o destinazione del flusso) e punti di discontinuità (restringimenti o allargamenti).

3 Organizzazione dei sistemi di trasporto

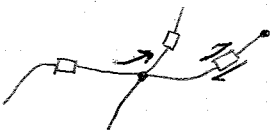
Le infrastrutture possono appartenere a sistemi di trasporto con

→ funzionamento lineare:



lo spostamento avviene lungo linee, cioè c'è un unico percorso e un'unica serie di veicoli che si spostano lungo l'infrastruttura (es. metropolitana)

→ organizzazione a rete (es. strada):

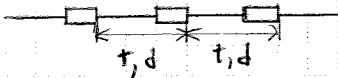


è una formazione a rete che consente la generazione e di intersezione nelle quali LE ENTITÀ POSSONO SCEGLIERE IL PERCORSO (no intersezioni ⇒ no scelta - è questa la differenza del lineare)

Però possono esserci nel sistema a rete delle entità che funzionano in modo lineare (es. autobus).

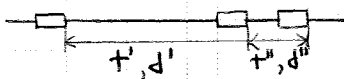
I sistemi di trasporto possono lavorare come

→ sistema continuo



c'è un funzionamento continuo all'interno del sistema di trasporto. Ad es. la funivia è un sistema di trasporto a via guidata che si muove lungo la via mantenendo la stessa distanza spaziale e temporale (spazio e tempo sono le variabili fondamentali nell'analisi del traffico) tra due parti.

→ sistema discontinuo:



la distanza tra le entità sia temporale che spaziale cambia (es. strade, ferrovie, linee aeree)

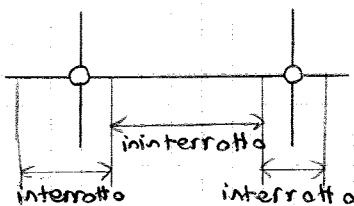
Nell'ambito della rete infrastrutturale con archi e nodi, lungo gli archi si possono individuare

→ infrastrutture a funzionamento ininterrotto:

L'ARRESTO avviene a CAUSE INTERNE al flusso stesso (es. incidente che è dovuto al flusso stesso, troppa addensamento nella corrente)

→ infrastrutture a funzionamento interrotto:

è il funzionamento di punti e dei tratti in cui convergono più infra-



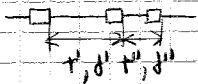
nel flusso interrotto le entità si fermano a cause esterne e la zona di funzionamento interrotto ha una certa area di influenza, non facilmente definibile e poco netta ma, in genere, è posta a cavallo dell'intersezione (o stazione).

5 Sistemi a funzionamento discontinuo:

x questi sistemi (strade, ferrovie, aeroporti), x valutare il modo con cui avviene lo spostamento, si usano delle quantità x quantificare

→ DOMANDA ⇒ flusso ϕ (o portata Q)

È il numero di entità che attraversano una certa sezione nell'unità di tempo.



Tale definizione dunque prevede il conteggio in una sezione fissa (si blocca lo spazio e si conta nel tempo) ed è molto utile perché si possono usare contascatti manuali o automatici posti sotto la pavimentazione.

Spesso la portata può essere valutata in un altro modo, a partire dall'intervallo di tempo ~~tra~~ nel passaggio di due veicoli successivi e definendo un tempo medio t_m

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

La definizione è la stessa, ma questa operazione è più utile ai fini dei problemi che si vogliono risolvere. In genere, l'unità temporale di riferimento è l'ora o il giorno (non il secondo perché dà numeri decimali).

Questa prima definizione (di conteggio o con tempo medio) è valida x ENTITÀ ISOLATE.

Nel caso di convogli, cioè vetture collegate con una matrice (es. treno), x valutare quanti passeggeri ci sono, si passa da treni/ora a passeggeri/ora moltiplicando il valore x il numero di veicoli x convoglio e x il numero medio di passeggeri in un veicolo

$$Q = \frac{nN \cdot 3600}{t_m} [pax/h]$$

→ OFFERTA ⇒ capacità C

Essa rappresenta la capacità di consentire il movimento di un certo numero di veicoli nell'unità di tempo.

Se t_m è il tempo medio, nell'ipotesi che si possa definire il tempo minimo t_{min} di passaggio tra un veicolo e il successivo nella stessa sezione, allora si può determinare il MASSIMO FLUSSO che, ipoteticamente, è in grado di passare in quella sezione. Così c'è una definizione simile a prima, con t_{min} al denominatore

$$C = \frac{1}{t_{min}} [v/s] = \frac{3600}{t_{min}} [v/h]$$

La capacità è dunque il flusso corrispondente al tempo t_{min} e CARATTERIZZA L'INFRASTRUTTURA e le sue potenzialità, mentre il flusso è una caratteristica della corrente (ma teoricamente un flusso può essere una capacità).

Capacità delle strade

Si è visto che la capacità è la caratteristica dell'offerta, cioè dell'infrastruttura, e ci si focalizza su di essa (la domanda si lega alla pianificazione dei sistemi di trasporto).

2 Capacità di una strada:

è il numero massimo di persone, veicoli o entità che sono in grado di attraversare una sezione nell'unità di tempo. In generale, si fa riferimento alle persone (passeggeri), che è l'unità di base quando si deve omogeneizzare tra più sistemi (es. strade con piste ciclabili e marciapiedi).
In questo ambito, ci si focalizza sulle **CORSIE VEICOLARI**.

Nel campo veicolare, la capacità dipende da più variabili. Si sa infatti che essa è definita come l'intervallo di tempo di riferimento (l'ora) diviso il tempo più piccolo che separa 2 entità successive. Questo tempo minimo dipende dal guidatore, a seconda del contesto urbano o extraurbano, e da altri parametri come

→ GEOMETRIA DEL TRACCIATO STRADALE:

essa è descritta dalla tortuosità dell'asse (indicatore inverso della linearità) e più c'è tortuosità, più c'è prudenza. Intervengono poi il numero delle corsie, l'ampiezza delle corsie e dei margini (banchine), etc.

→ CARATTERISTICHE INTRINSECHE DELLA CORRENTE, cioè la tipologia di veicoli (se c'è maggioranza di veicoli pesanti, si usa più prudenza) e le prestazioni.

→ AZIONI DI CONTROLLO ESERCITATE SULLA CORRENTE (limiti di velocità e segnali stradali).

Tutti questi fattori agiscono sul tempo minimo.

Inoltre, la capacità non è costante ma varia nello spazio (una stessa sezione stradale in contesti diversi ha diverse capacità) e nel tempo (una stessa sezione stradale in tempi diversi ha diverse capacità), poiché cambiano i parametri da cui dipende.

In particolare, si riconosce come importante ai fini della quantificazione dell'offerta la **qualità di deflusso**, legata alla densità della corrente. Del resto, si viaggia ~~quasi~~ bene quando ci sono poche auto che condizionano la scelta delle corsie. Infatti, nel Manuale di capacità delle strade (Highway Capacity Manual - HCM), il livello di servizio e il flusso nelle strade si misurano tenendo conto di molte variabili, tra le quali le più importanti sono

→ numero e larghezza delle corsie

→ larghezza delle banchine

→ andamento plano-altimetrico (come si sviluppa in piano - tortuosità - e in altezza)

→ composizione del traffico

→ abitudini e abilità dei guidatori

→ libertà di sorpasso

→ limiti di velocità.

Capacità delle ferrovie

1 Nelle ferrovie, la circolazione rispetta determinate regole

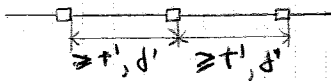
- non è ammesso il sorpasso dei convogli lungo la linea, ma solo nelle stazioni, in cui i treni più lenti sono spostati in altri binari
- i convogli lungo la linea devono essere opportunamente distanziati, in modo da evitare collisioni.

2 Distanziamento

Il distanziamento può essere di tempo o spazio. Infatti, la gestione delle linee può essere fatto secondo un distanziamento di

→ tempo (RFI lo applica alle reti AV)

→ spazio (RFI lo applica alle linee ordinarie, con una distanza minima di 2,5 km).



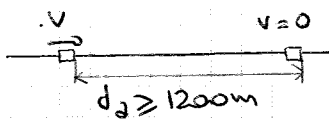
Il distanziamento spaziale è usato perché garantisce un più ampio margine di sicurezza, soprattutto dove non c'è controllo diretto sulla posizione del veicolo (anche se ora c'è).
Ci si stabilisce una regola semplice:

si definisce uno SPAZIO DI ARRESTO, relativo al treno più veloce di quella linea, a partire da quella velocità.

Da questa misura, si stabilisce che tra i treni si mantenga un distanziamento spaziale di n volte lo spazio d'arresto del treno più veloce.

Per $n=1$, se c'è un treno fermo sulla linea, quando giunge l'informazione all'altro treno, c'è uno spazio x arrestare senza collidere (è lo spazio minimo di sicurezza).

In Italia, si usa $n=2$, x avere una ragionevole sicurezza.



Come è applicata la regola?

Questa regola di distanziamento è applicata ponendo sulla linea dei semafori, con una regola

→ verde ⇒ via libera

→ rosso ⇒ via impedita

→ giallo ⇒ avviso di via impedita (invita all'arresto)

e i semafori sono posti sulla linea proprio alla distanza d'arresto del treno più veloce.

⇒ la linea è suddivisa in sezioni di blocco, di lunghezza circa 1,2 km e, nel punto di passaggio da una sezione alla successiva, c'è un semaforo.

Se il segnale è verde, nelle 2 sezioni successive (in Italia) non c'è alcun treno presente.

Se è giallo, non nella prima ma nella seconda sezione c'è ancora un treno presente (in mezzo o alla fine).

Se è rosso, c'è un treno nella sezione immediatamente successiva.

Da qui, x definizione di capacità, si ha che

$$C = \frac{3600}{t_{\text{min}}} = \frac{3600v_{\text{max}}}{L + j s_0 + t_r v_{\text{max}}}$$

Ora, lo spazio d'arresto nasce dall'equazione

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

e rappresenta lo spazio percorso in condizioni di moto uniformemente decelerato, a partire da v_{max} . Le ferrovie italiane usano un coefficiente di sicurezza k e così la distanza tra le sezioni vale

$$s_0 = 1350 \text{ m}$$

Se si sostituisce s_0 , si ottiene

$$C = \frac{3600}{\frac{L}{v_{\text{max}}} + j \frac{k v_{\text{max}}}{2a} + t_r} = D$$

$$C = \frac{3600}{\frac{L}{v_{\text{max}}} + j \frac{k v_{\text{max}}}{2a} + t_r}$$

In questa equazione, si nota che la capacità dipende dalla velocità v_{max} e dunque ci sarà una certa capacità a 100 km/h, un'altra a 150 km/h, etc.

⇒ dunque la capacità non è un valore assoluto ma relativo.

Di conseguenza, esiste un valore massimo che può assumere, detto potenzialità della linea (è la MASSIMA CAPACITÀ).

Questa si ottiene quando si minimizza il denominatore, x cui si studia la sua derivata prima

$$\begin{aligned} \frac{dD}{dv_{\text{max}}} &= \frac{d}{dv_{\text{max}}} \left(\frac{L}{v_{\text{max}}} + j \frac{k v_{\text{max}}}{2a} + t_r \right) = \\ &= -\frac{L}{v_{\text{max}}^2} + \frac{jk}{2a} = 0 \\ \Rightarrow v_{\text{max}} &= \sqrt{\frac{2aL}{jk}} \end{aligned}$$

$$v_{\text{id}} = \sqrt{\frac{2aL}{jk}}$$

Velocità ideale

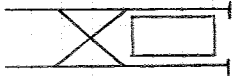
Sostituendo nella capacità, si ottiene la potenzialità

$$C_{\text{max}} = \frac{3600}{\sqrt{2jkL/a} + t_r}$$

$$C_{\text{max}} = \frac{3600}{\sqrt{\frac{2jkl}{a}} + t_r}$$

Questo risultato ha valore assoluto, poiché non si sta calcolando la capacità della linea con una certa velocità, ma una capacità prescindere dalla velocità o, meglio, con una velocità particolare (la VELOCITÀ IDEALE)

5 Stazioni di testa



Esse presentano un grande fascio, poiché i treni quando arrivano in queste stazioni non ripartono subito (come nelle stazioni di Imed), ma terminano il servizio, c'è il cambio di macchinista, controllo e pulizia del treno, discesa di tutti i passeggeri e salita di nuovi e questo richiede un tempo maggiore. Questo tempo è tenuto conto nel calcolo della capacità ed è scritto nelle tabelle di marcia.

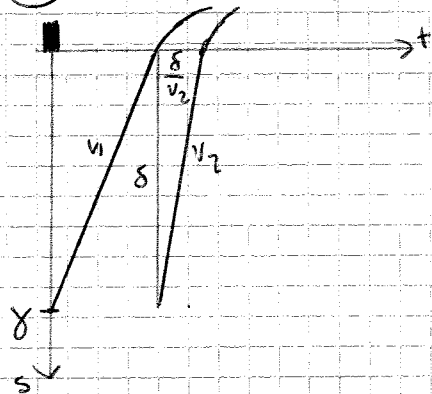
In esse serve un numero sufficientemente grande di binari, x poter mantenere la capacità della linea. Se fossero solo 2, ciò si riflette sulla linea perché gli altri devono aspettare che almeno un binario si liberi. Così se la capacità è di 5 treni/ora, servono almeno 5 binari se il primo treno arrivato riparte dopo 1 ora.

PROPRIETÀ: in Italia la regola di circolazione è opposta rispetto a quella usata nelle strade.

Si dice che ciò si leghi alle origini inglesi ma in realtà, con i primi locomotori si doveva sporgere la testa ~~x vedere a sinistra~~ x vedere (davanti era tutto chiuso) e con la mano destra si azionavano i comandi e ciò era possibile solo con la guida a sinistra.

La capacità dipende da molti fattori e ci sono casi diversi

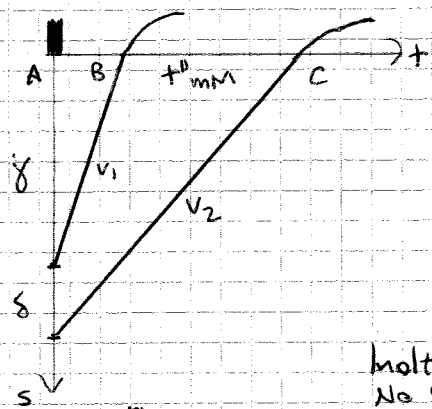
I Il velivolo che precede è più lento di quello che segue



Quando il velivolo supera la soglia, esiste un distanziamento spaziale minimo δ lungo il sentiero di avvicinamento e questo deve essere garantito finché il primo che precede non tocca la pista. In queste condizioni, si è in condizione di massima vicinanza. Allora il tempo t_{min} , cioè il tempo impiegato dal II aereo a passare da δ alla soglia, si legge sulla soglia della pista (sull'asse del tempo) e vale

$$t_{min} = \frac{\delta}{v_2}, \quad v_2 \geq v_1$$

II Il velivolo che precede è più veloce di quello che segue

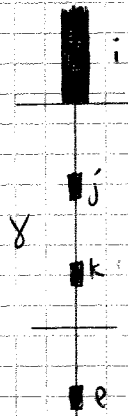


La condizione si ribalta e, quando il primo velivolo entra, esiste sempre il distanziamento δ rispetto al secondo. Dunque il distanziamento temporale minimo $t_{min}'' = \overline{BC}$ è dato dalla differenza dei cateti \overline{AC} e \overline{AB} .

$$t_{min}'' = \overline{AC} - \overline{AB} = \frac{\delta + s}{v_2} - \frac{\delta}{v_1}$$

$$t_{min}'' = \frac{\delta + s}{v_2} - \frac{\delta}{v_1}, \quad v_2 < v_1$$

Inoltre occorre considerare la regola aeronautica a cui **NON POSSONO ESSERE PRESENTI SULLA STESSA PISTA DUE VELIVOLI CONTEMPORANEAMENTE**, indipendentemente dalla manovra fatta. Dunque, pur avendo rispettato le distanze in volo, se quello avanti sta ancora nella pista, non va bene. Allora bisogna imporre un maggiore distanziamento e si sceglie il valore massimo tra quello ricavato in volo e quello di occupazione della pista (il tempo più vincolante è quello più grande).



$$t_{min} = \begin{cases} \max\left(\frac{\delta}{v_j}; 0\right), & v_j \geq v_i \\ \max\left(\frac{\delta + s}{v_j} - \frac{\delta}{v_i}; 0\right), & v_j < v_i \end{cases}$$

Ovviamente, il tempo 0 è riferito al velivolo che precede. La regolazione delle distanze è fatta dal controllore di volo.

In realtà, il calcolo della capacità prevede di considerare casi dove il velivolo davanti è più o meno veloce di quello dietro e bisogna considerare i vari casi. Avendo 2 valori di tempo minimo, l'uno x il primo caso e l'altro per la seconda, bisogna considerare che, a seconda delle classi di velocità (note) possono capitare entrambi i casi e dunque possono esserci diverse velocità in atterraggio e diverse combinazioni. Di conseguenza, si ottengono dei tempi t_{ij} dipendenti dalla combinazione specifica delle velocità v_i e v_j e la probabilità che si verifichi ciascuna combinazione si lega alla percentuale dei velivoli nella classe i o j .

I velivoli possono essere divisi in più classi a seconda della velocità di atterraggio o delle caratteristiche (qui si lavora con 4 classi di velocità v_1, v_2, v_3 e v_4). Ciascuna classe ha una certa percentuale di atterraggio in pista, nota al gestore della scalo. Ciascuna combinazione dà tempi diversi e ci sono tanti tempi quante sono le combinazioni, ordinati secondo una matrice.

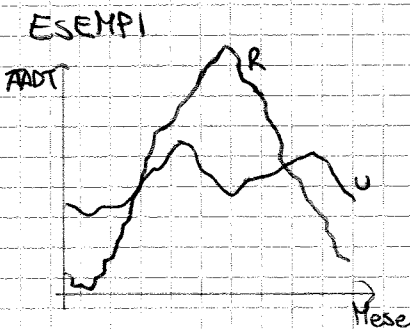
CONDIZIONI DI DEFLUSSO E DIMENSIONAMENTO

1 Ora si ragiona sulle strade

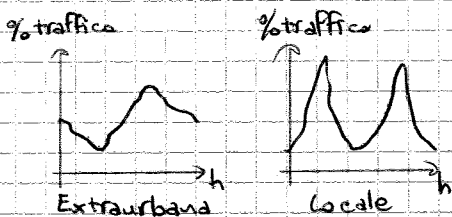
2 Teoria del deflusso ininterrotto:

si sa che questa è una condizione in cui l'arresto della corrente dipende solo da cause interne alla corrente ed è il tipico funzionamento delle strade. In genere, si tratta il deflusso, non quello teorico ma quello reale.

DEFINIZIONE: deflusso è quello che si intende quando ci si riferisce all'evoluzione dei flussi in un certo lasso di tempo ed è il modo in cui si evolvono i flussi nell'arco del tempo.



Il traffico medio giornaliero (TGM) su base annua (in inglese, AADT) è la rilevazione fatta x 1 anno e diviso 365. Se questo valore è posto pari a 100, si ottengono delle oscillazioni rispetto a quel valore e si nota che il traffico reale oscilla superandolo o meno nell'anno. In ambito urbano (U) si usano più auto in condizioni climatiche favorevoli. In ambito rurale (R) l'oscillazione è maggiore e più marcata. Le curve tracciate sono dette CURVE DI DEFLUSSO e si possono avere molte rappresentazioni.



Se si sceglie come tempo di riferimento la settimana, si nota che, leggendo il valore medio di traffico settimanale durante la settimana, sono più trafficati i periodi feriali rispetto a quelli festivi.

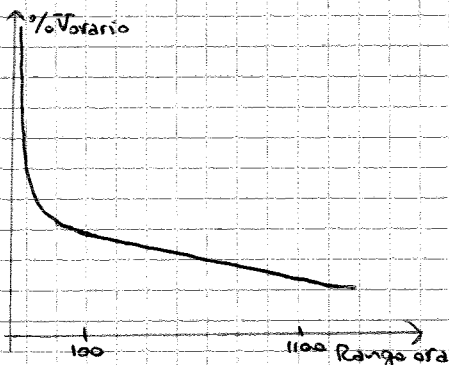
Se si usa come base il giorno, allora in strade extraurbane si ha un certo traffico in giornata e nelle strade locali c'è molto traffico nelle ore di punta, con 2 picchi nelle ore di punta.

Questa è l'analisi della domanda.

Se ogni strada è una situazione a sé, bisogna capire come progettare l'offerta (cioè le strade), tenendo conto che la domanda è mutevole a seconda dello spazio (urbano vs rurale) e del tempo (varia nella giornata), anche in modo marcato.

Come quantificare l'effetto in funzione della domanda variabile? Quante corsie mettere x distribuire i flussi?

Si potrebbero prendere i valori più alti di traffico in assoluto e dunque scegliere quelli più alti nella giornata, ma questi non sono uguali in tutta la settimana e non valgono x tutto l'anno. Ad es. a Torino conviene fare il rilievo a Maggio e a Ottobre, perché sono di più valido riferimento.



Allora nell'HCN si è stabilita una regola x stabilire i flussi di riferimento con cui progettare la sezione trasversale: x una strada in progetto, attraverso la pianificazione del trasporto, si può prevedere il deflusso. Per le strade esistenti, si fa un rilievo in cui si conteggia il numero di veicoli all'ora x un anno (\approx 8760 rilievi orari). Di questi, ci sono alcuni dati più grandi e questi possono essere ordinate secondo un diagramma con

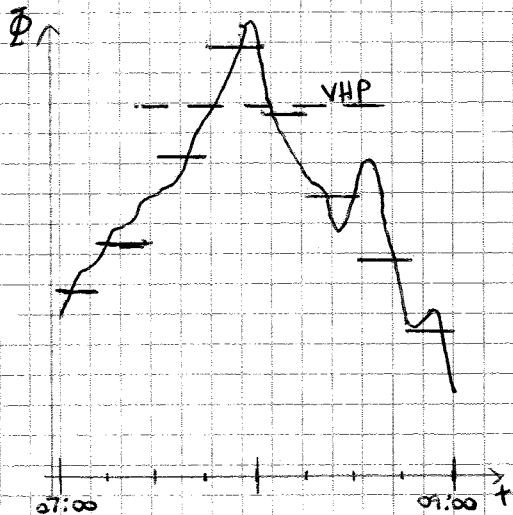
→ asse X = livello delle ore (classificate le ore - a sinistra ci sono quelle più trafficate)

Così il VHP corrisponde al volume nell'ora di punta nella direzione più trafficata

$$VHP = AADT \cdot k \cdot D$$

Ora, però, durante l'ora di punta (ad es. tra le 8:30 e le 9:30), il flusso è costante?

In generale no ed esiste una tendenza che ci sia un quarto d'ora più trafficato delle restanti porzioni dell'ora. Da qui si capisce che, proprio a questo, non conviene ricorrere all'ora a avere una base con cui definire le condizioni critiche.



Si può provare a istogrammare il volume registrato ogni 5 minuti di veicoli all'ora. Ovviamente, qui non si riporta il conteggio dei 5 minuti, ma lo si spalma in maniera equa sull'ora, moltiplicando il conteggio $\times 12$. Se si riporta all'ora, si riesce ad avere un andamento rappresentativo del traffico nell'ora considerata.

Facendo i rilevamenti tra i vari 5 minuti, si nota che dalle ore 7:00 alle ore 9:00 c'è una grande differenza nel dato.

Dunque si potrebbe valutare il traffico nell'ora di punta prendendo i primi 15 minuti e facendo la media e così via e, tra queste, cercare il valore più grande in quell'ora. Allora si può notare che, rispetto al valore medio più alto di traffico (linea tratteggiata) delle altre 12 coppie biorarie, la media nel quarto d'ora è molto maggiore, cioè c'è molto più traffico rispetto ai restanti quarti d'ora.

Per questo motivo, il manuale consiglia di prendere quel valore e idealmente spalmarlo sull'ora

⇒ il dimensionamento si basa sul volume orario del quarto d'ora più trafficato dell'ora più trafficata in tutte le curve di deflusso

↳ cioè si basa sul quarto d'ora più trafficato

Questo quarto d'ora è incluso nel volume di traffico attraverso il cosiddetto peak hour factor (PHF = Fattore dell'ora di punta), valore minore di 1 dato dal rapporto del volume orario e il volume dei 15 minuti più trafficati moltiplicati $\times 4$ (in modo da riferirsi a un valore orario)

$$PHF = \frac{VHP}{4V_{15, \max}}$$

↳ è minore di 1 perché V_{15} è il più alto nell'ora

Dividendo il volume orario \times il PHF, si ottiene il tasso di flusso

$$TF = \frac{VHP}{PHF}$$

A questo Fattore ci si riferisce a la verifica e il dimensionamento delle sezioni stradali. Esso è un numero non misurato ma calcolato, in quanto deriva da osservazioni ma tiene conto che nell'ora più trafficata, si considerano i 15 minuti più trafficati e questi sono spalmati nell'ora, in modo da tenere conto delle fluttuazioni nell'ora di punta (si usa il valore più estremo che si verifica nelle condizioni critiche).

Si possono così individuare 2 pendenze, date dal rapporto dei cateti del triangolo rettangolo

→ il primo è il rapporto $\frac{\partial N}{\partial t}$, che è il numero di veicoli nel tempo, cioè il flusso veicolare Q

$$Q = \frac{\partial N}{\partial t}$$

→ il secondo si lega a quanti veicoli sono presenti in un certo tratto di strada e si parla di densità veicolare D

$$D = \frac{\partial N}{\partial x}$$

Ora si sa che la velocità di una corrente in movimento può essere calcolata come il valore medio della velocità dei veicoli e la si pone pari a

$$v = \frac{\partial x}{\partial t}$$

Da qui si osserva che vale la relazione

$$Q = \frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\partial N}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} = Dv$$

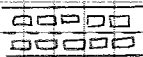
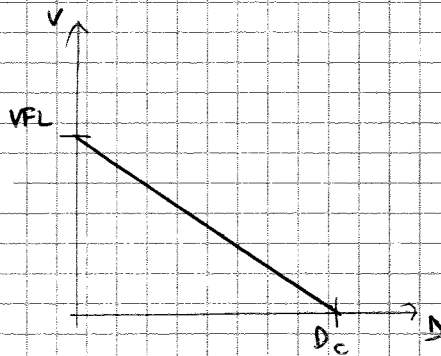
$$Q = Dv$$

Equazione di conservazione della massa (simile a quella del tubo di flusso)

Questa è un'equazione fondamentale e dice che la quantità di veicoli che transita nell'unità di tempo in una determinata sezione (cioè Q) dipende dalla densità della corrente e dalla sua velocità.

Ma se si individua un legame tra Q , D e v (Q dipende da D e v)

In realtà, nel flusso veicolare anche densità e velocità dipendono tra di loro e, immaginando la relazione, si traccia un grafico $D-v$ e il flusso

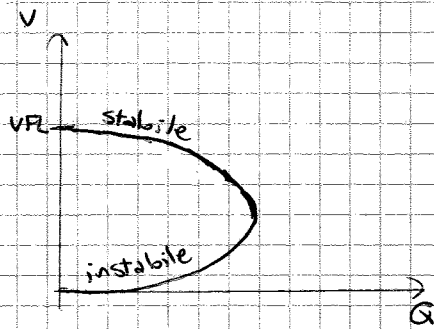


→ se $D \rightarrow 0$, ci sono pochi veicoli che sono così detti come veicoli isolati che viaggiano in condizioni di flusso libero, e cui la velocità media è la velocità di flusso libero VFL . Così si è fissato un primo punto.

→ quando la densità D raggiunge la condizione massima possibile, si è in una situazione dove i veicoli sono impacchettati lungo l'altro (CONDIZIONE DI CONGESTIONAMENTO). Il valore di D è calcolato prendendo 1 km di strada e dividendolo x la lunghezza tipo (ca. 5 m, comprendenti lunghezza del veicolo e spazi tra veicoli), e cui $D_c = 200$ autovetture/km/corsia. Qui i veicoli sono fermi, e cui $v = 0$

→ in mezzo, la cosa più semplice che si è osservata è la CONNESSIONE LINEARE (ipotesi di Greenshield). Anche nei tratti intermedi la legge varia in modo lineare

$$v = VFL \left(1 - \frac{D}{D_c} \right)$$



Esiste un'altra rappresentazione, in cui si legano portata e velocità e si ottiene un'altra parabola, derivante dall'equazione fondamentale (dove si è sostituita la densità di Greenshield).

$$Q = D_c \left(v - \frac{v^2}{VFL} \right)$$

In essa il tratto di flusso stabile è sempre quello che parte dalle condizioni di flusso libero e arriva alle condizioni critiche (dove $D = D_{cr}$) e il tratto instabile è quello a piccole velocità.

CONSEGUENZA : LA PORTATA NON È UN BUON INDICATORE PER LE CONDIZIONI DI DEFLUSSO perché uno stesso valore può essere raggiunto da due condizioni diverse di deflusso e dunque non si riesce a capire la qualità di deflusso (stabile, instabile, libero o congestionato).

⇒ è meglio riferirsi alla densità o eventualmente alla velocità

La convenzione è stata stabilita negli anni '50 ed è ancora usata, anche se sono cambiate le equazioni che interpretano il modello reale.
Nella parte superiore, le condizioni cambiano in modo graduale e si definiscono 5 LOS in flusso stabile e 1 in flusso instabile, definite in base al livello di attività

→ A = condizioni di flusso libero

Qui c'è totale assenza di condizionamento tra veicoli, che procedono con velocità

$$V \approx V_{FL}$$

La densità limite è

$$D = 11 \text{ pax/mi/lane}$$

che è ricavabile dalla retta ed è scelta in modo convenzionale, a separare il LOS A dal LOS B (qui è \times le autostrade)

→ B = condizioni di flusso stabile ad alta velocità

Qui c'è flusso libero con qualche limitazione alla libertà di manovra ma anche con elevate condizioni di comfort fisico e psichico.
La densità limite vale

$$D = 18 \text{ pax/mi/lane}$$

→ C = condizioni di flusso medio:

Qui c'è un flusso stabile con cambi di corsia e sorpassi interni alla corrente, poiché ci si può trovare davanti uno più lento (ciò è tipico di densità già alte).
La densità limite vale

$$D = 26 \text{ pax/mi/lane}$$

→ D = condizioni di flusso in avvicinamento alle condizioni instabili

Qui c'è un flusso stabile con ridotta libertà di manovra e basso comfort fisico (si deve cambiare velocità) e psichico (non si può occupare la corsia voluta).
La densità vale

$$D = 35 \text{ pax/mi/lane}$$

→ E = condizioni di flusso stabile a bassa velocità

Qui c'è un flusso al limite dell'instabilità con condizionamento molto forte, in cui si possono tenere velocità di circa $0,5 V_{FL}$.
La densità limite vale

$$D = 45 \text{ pax/mi/lane}$$

→ F = condizioni di flusso instabile

Qui c'è un flusso forzato, con fenomeni di stop & go

Dimensionamento e verifica delle sezioni stradali

Ora si vede come si progetta o si verifica dal punto di vista funzionale la sezione stradale in condizioni di flusso ininterrotto. Il riferimento è il manuale HCM, che tratta tutte le condizioni operative, oltre alla progettazione delle intersezioni e tutte le situazioni che riguardano l'analisi funzionale delle strade.

Qui si focalizza su alcune sezioni stradali che, x la norma italiana (che fa riferimento all'HCM), hanno misure standard, incrementabili a seconda della situazione poiché devono contenere l'ora di punta.

Da queste informazioni, si progetta la sezione trasversale e, infatti, progettare una sezione trasversale significa stabilire gli elementi in essa contenute e le loro dimensioni

↓
bisogna trovare il tipo di corsie e dimensionarle e, con l'HCM, calcolare il numero di corsie necessarie x far defluire M un determinato LOS un certo flusso di progetto

Ovviamente, c'è anche la verifica e il manuale dà la possibilità di calcolare il LOS quando la sezione trasversale è nota (perché esiste già)

PROPRIETÀ → si nota che alcune sezioni non sono progettabili con più di una corsia x senso di marcia (strade extraurbane secondarie e locali).
Quando la sezione è definita a priori, non si può fare il dimensionamento ma solo la verifica.
Se poi, in base ai dati forniti dal gestore, si ha LOS F, allora bisogna cambiare tipo di strada e da lì si può giocare sul numero di corsie

↓
non si può cambiare il numero di corsie ma, al massimo, cambiare categoria di strada

→ i modelli di riferimento e le relative equazioni interpretano i fenomeni di interazione e entità - infrastrutture riferendosi a condizioni standard.

Le condizioni base di es sono la larghezza di corsia di 3,60 m (HCM lavora con questo) e, se si usa 3,75 m, si possono usare le stesse equazioni secondo delle ipotesi semplificative e ottenere risultati approssimati. Per 3,30 m di larghezza si è fuori dalle condizioni base, perché questa è una condizione reale e specifica, diversa da quella ideale a cui le equazioni si riferiscono.

Le equazioni, x questo, contengono dei coefficienti correttivi che fanno sì che la VFL data dall'equazione sia corretta x l'aver tenuto conto che la corsia è larga 3,30 m e non 3,60 m

⇒ in altre condizioni, quando si fa l'analisi di progetto o di verifica, si usano coefficienti correttivi tabulati.

↓
la cosa importante è che esistono delle condizioni di base e ogni situazione che si differenzia da esse prevede l'adozione di coefficienti correttivi (es corsie di marcia e banchine più strette, mezzi pesanti - le condizioni base prevedono veicoli tutti uguali)

+
le differenze sono raggruppabili x geometria, caratteristiche della corrente e sistemi di controllo.

Però questo è tutto ciò che passa nella sezione. Se nel volume si tiene conto del fatto che si considera la direzione più trafficata (con il D-factor), cioè si considera una direzione di marcia, allora bisogna far intervenire il numero di corsie di marcia N di una carreggiata o direzione.

Inoltre, il traffico è riferito alla condizione base, in cui intervengono solo autovetture. Per questo si introduce il coefficiente di conversione dei mezzi pesanti f_{HV} , coefficiente minore di 1 (dunque tende ad aumentare il volume) che converte i mezzi pesanti in autovetture equivalenti.

Esso dipende dalla GEOMETRIA DEL TERRENO (pianura, collina o montagna) e dal TIPO DI TRAFFICO (veicoli a destinazione turistica - caravan, etc. - , bus, camion, etc.).

Esso si calcola come

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

P_T = percentuale di mezzi commerciali e bus

P_R = percentuale di mezzi a destinazione turistica

se non ci sono veicoli pesanti, si ha $f_{HV} = 1$ cioè il numero di veicoli coincide con il numero di autovetture

E_T, E_R = coefficienti di conversione dei veicoli di ogni categoria in autovetture.

Questi coefficienti variano a seconda del tipo di terreno:

su un terreno pianeggiante un autocarro equivale a 1,5 veicoli e varia in montagna, poiché sono più lenti rispetto alle autovetture. I veicoli turistici sono distinti rispetto agli altri perché hanno coefficienti più bassi.

Quando poi si analizza limitatamente alla condizione SPECIFICA di un tratto in salita o di discesa, contano la pendenza e anche la lunghezza, che incidono sul coefficiente, anche in funzione della percentuale di traffico pesante.

Si può notare che a tale termine si toglie 1 perché bisogna convertire in autovetture equivalenti e bisogna togliere ciò che si è già contato nell'equazione del flusso generale, cioè si tiene conto dell'incremento e dunque bisogna togliere l'unità di riferimento.

Infine bisogna tenere conto dell'eventuale presenza di utenti non abituali e che non conoscano la strada, a cui si muovono con maggiore difficoltà. Per questo, si introduce il coefficiente del guidatore f_p , valore fissato dal manuale tra 0,85 e 1

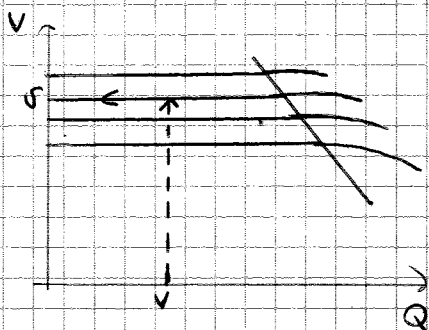
→ x la tangenziale si va verso l'unità poiché ci sono utenti abituali (non al primo giorno di apertura, ma nel tempo prevalgono perché l'autostrada urbana è usata x spostamenti locali)

→ x autostrade extraurbane a destinazione turistica, il coefficiente è circa 0,85

→ si usano valori intermedi quando c'è un mix tra pendolari e utenti occasionali

III) Calcolo della velocità e della densità e del LOS

Si osserva che, all'inizio, non si è calcolata la velocità effettiva ma la VFL, che è caratteristica dell'infrastruttura ed è mantenuta fino al LOS A e B.



La velocità viene determinata dalle curve in cui, scelta la curva in base alla VFL, si sostituisce il valore di volume calcolato e si legge l'ordinata del punto di intersezione. Da qui si calcola la densità come

$$D = \frac{V_f}{V}$$

e, nota la densità, si deduce il LOS (il LOS di riferimento è il D)

f_{LC} il fattore correttivo per la larghezza delle corsie

II) Calcolo del volume corretto

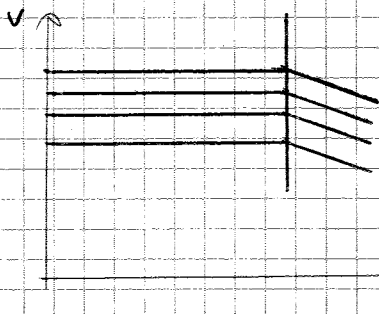
L'equazione è analoga a quella delle autostrade

$$V_p = \frac{VHP}{PHF \cdot N \cdot f_{HV} \cdot f_p}$$

I coefficienti sono identici ma i valori tabulati sono diversi

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

III) Calcolo di velocità, densità e del LOS



Le curve di progetto sono 4 (con sempre 5 LOS), due VFL che vanno da 45 a 60 mi/h che sono velocità più basse rispetto alle autostrade, e gli stessi valori di confine del LOS a livello di densità.

La geometria però è diversa, come anche il valore Angle di capacità

→ c'è un solo breakpoint x tutte le curve, a 1500 pc/h/ln

→ oltre esso c'è una configurazione retta.

Allo stesso modo di prima, si ricavano la velocità v (ponendo sull'ascissa il volume ricavato e leggendo l'ordinata corrispondente) e la densità, come

$$D = \frac{V_p}{v}$$

Dal valore di densità, si deduce il LOS

↓ si nota che, se all'inizio le curve sono le stesse, oltre le curve sono diverse e i valori di densità limite sono x il LOS E sono diverse a seconda il VFL (prima c'era un'unica linea che andava a tagliare tutte le curve)

- CLASSE I : l'utente desidera viaggiare con velocità alte e, x far ciò, deve essere in grado di superare veicoli con velocità minori. Se la velocità è alta, è richiesto un alto A⁺ e, x poter superare i veicoli lenti, serve un buon valore di PTSF
- CLASSE II : l'utente accetta di viaggiare con velocità minori (non conta l'ATS) ma vuole poter superare veicoli più lenti, x cui conta il PTSF ed esistono dei valori da rispettare
- CLASSE III : nei piccoli centri, si accetta di viaggiare a velocità minori e rimanere in coda (cioè non superare) ma la velocità non dev'essere troppo bassa e dunque bisogna rispettare una certa percentuale rispetto alla VFL, cioè il PFFS.

Prima di vedere la procedura, si nota che il Flusso atteso (cioè la domanda) è valutato in base al volume orario nell'ora di punta e poi questo è trattato in modo da riportarsi in condizioni standard, x potersi riferire a condizioni identiche. In questo caso, la strada standard è

- larghezza delle corsie 12 ft
- larghezza delle banchine laterali 6 ft
- terreno in piano
- non sono considerati mezzi pesanti
- il sorpasso è considerato sull'intera tratta (si corregge ^{il valore} quando non è garantito su tutto il tratto)
- Flusso uguale in tutte e 2 le direzioni
- no interruzioni

Ogni volta che il tratto considerato viola le condizioni, bisogna correggere il Flusso x riportarsi alle condizioni di base e ottenere il Flusso di riferimento.

PROCEDIMENTO

⊕ Calcolo della VFL

Come prima, si parte da alcuni dati di input come dati geometrici sull'organizzazione della sezione stradale, la lunghezza del tratto e la pendenza, tipo e classe di strada e il volume di domanda, cioè il Flusso previsto.

Per quanto riguarda la VFL, in teoria essa dev'essere misurata considerando almeno 100 veicoli e in condizioni di flusso inferiori ai 200 veicoli/h. Se durante la campagna di misure il flusso è maggiore, si fornisce un margine di correzione del risultato, in base al flusso.

Se non è possibile la misura diretta, è fornita un'equazione x la stima della VFL

$$VFL = VFLB - f_{L5} - f_p$$

VFLB : velocità di flusso libero di base, che è un valore standard che può essere corretto in base alle caratteristiche geometriche della strada considerata.

f_{L5} : fattore di correzione legato alla larghezza di banchine e corsie e, più sono strette, più è grande. Il valore è fornito da tabelle in cui non bisogna fare interpolazioni (in base all'intervallo in cui si rientra, c'è un valore)

A questo punto, si può calcolare l'ATS corretto :

$$ATS_d = VFL - 0,0076 (V_{d,ATS} + V_{v,ATS}) - f_{np,ATS}$$

Nell'espressione, il secondo addendo rappresenta una prima correzione in cui intervengono il flusso nella direzione di percorrenza e quello nella direzione opposta

$f_{np,ATS}$: fattore di correzione per il sorpasso, che riduce la VFL in base alle zone in cui non è possibile il sorpasso (dipende da quanto è consentito il sorpasso nel tratto considerato).

→ PTSE :

in maniera analoga all'ATS, si determina dapprima il volume

$$V_{i,PTSE} = \frac{VHP_i}{PHF \cdot f_{g,PTSE} \cdot f_{HV,PTSE}}$$

$$V_{o,PTSE} = \frac{VHP_o}{PHF \cdot f_{g,PTSE} \cdot f_{HV,PTSE}}$$

La relazione è stessa, ma ora i valori che compaiono sono riferiti a una tabella relativa al PTSE.

A questo punto, si può determinare il PTSE corretto

$$PTSE_d = PTSEB_d + f_{np,PTSE} \left(\frac{V_{d,PTSE}}{V_{d,PTSE} + V_{o,PTSE}} \right)$$

In questo caso, si parte da un valore base corretto in funzione del flusso che interessa il tratto analizzato, dove ci sono due parametri

$$PTSEB_d = 100 \left(1 - e^{-a \cdot V_d^b} \right)$$

b dipende dal flusso nella direzione opposta

⇒ PFFS :

poiché esprime in termini percentuali la compatibilità tra ATS e VFL (è il loro rapporto), basta determinare ATS_d con la procedura di prima e da qui si ha

$$PFFS = \frac{ATS_d}{VFL}$$

III) Calcolo del LOS e della capacità della strada

In base alla classe della strada e ai valori ottenuti, si determina il LOS mediante tabelle.

Nel caso di strade di I classe, il valore è determinato in base all'ATS e al PTSE e, se vengono due LOS diversi, si sceglie quello peggiore.

Da qui poi si calcola la capacità, sapendo che il valore di 1700 pc/h/lane è riferito alle condizioni base. In caso di condizioni non base, si parte dal valore di riferimento e corretto con determinati coefficienti

$$C_{d,ATS} = 1700 f_{g,ATS} f_{HV,ATS}$$

$$C_{d,PTSE} = 1700 f_{g,PTSE} f_{HV,PTSE}$$

→ valore x direzione (se no, compare 3200)

→ in tal modo, il valore diminuisce perché i valori di riferimento sono i massimi che si possono considerare

PROGETTAZIONE GEOMETRICA DEI TRACCIATI

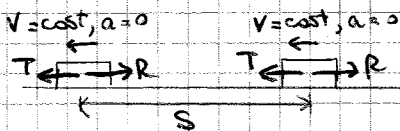
Dinamica del moto

1 Interazione con i mezzi di locomozione:

è una disciplina che sta a cavallo tra ingegneria civile, meccanica e dei trasporti e studia l'equilibrio dinamico di veicoli e velivoli lungo le infrastrutture. La conoscenza delle prestazioni dei veicoli consente di ricavare parte delle regole di progettazione geometrica.

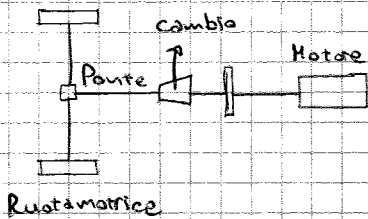
2 Per poter muovere un veicolo, è necessario spendere energia a compiere un determinato lavoro, pari al prodotto della spinta esercitata sull'oggetto e lo spostamento dell'oggetto. Nel caso dei veicoli, la spinta avviene x la presenza di motori e organi che la fanno avanzare.

$$L = T \cdot s$$



Questo lavoro è compiuto se si ha una certa energia. Ciò è quello che capita quando un veicolo è spinto da una forza T x uno spostamento s. In condizioni di moto uniforme, un'entità come il veicolo è in equilibrio dinamico, cioè la risultante delle forze agenti sul veicolo ΣF è nulla e c'è sempre equilibrio dinamico tra la spinta T e le forze opposte R.

Da cosa deriva il moto?



Questo deriva dalla disponibilità a bordo di un motore, organo che riesce a imprimere la spinta T. Il motore è separato dalle ruote che consentono l'avanzamento (ruote motrici) e fa ruotare l'albero di trasmissione, grazie alla presenza di una serie di elementi, come frizioni (è un disco), organi di cambio e asse. Tra asse e albero di trasmissione c'è il differenziale, che trasmette in maniera identica o differita la rotazione dell'albero prodotta dal motore alle ruote motrici (è assente nei treni). Questo è lo schema base di un veicolo.

Lo schema non vale x i velivoli perché l'azione deriva da motori a turboelica, elica o turbine, in cui si genera uno spostamento d'aria e dunque si sposta il velivolo.

3 Meccanica della locomozione

Innanzitutto, le coppie generate da motore sono trasmesse alle ruote ma, in tutta la trasmissione, c'è dissipazione, x cui non tutto quello prodotto dal motore è disponibile alle ruote (x attriti, strisciamenti, etc.)

⇒ nel bilancio di energia bisogna considerare che parte dell'energia è dissipata negli attriti (e diventa calore ed è persa) e non esistono sistemi a rendimento unitario.

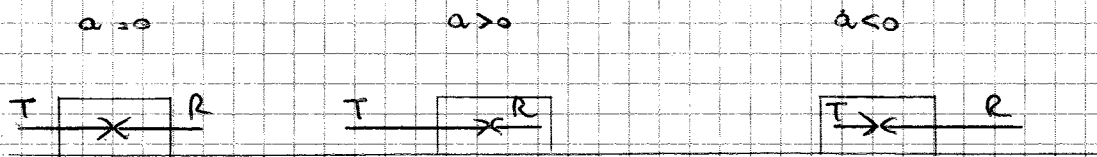
In realtà, bisogna anche considerare le VARIAZIONI DI VELOCITÀ perché, in tal caso, il corpo subisce l'effetto di forze d'inerzia, legate a masse in movimento

→ velocità costante \Rightarrow l'equilibrio delle forze in gioco è tale che $T = R$

→ $a > 0$ \Rightarrow si ha accelerazione quando $T > R$, cioè quando la spinta riesce a superare le resistenze

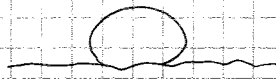
→ $a < 0$ \Rightarrow si ha decelerazione quando $T < R$

Sembra così che in accelerazione o decelerazione non ci sia equilibrio dinamico ma questa c'è sempre perché bisogna considerare le forze d'inerzia, che sono opposte all'accelerazione. Così, a seconda del prevalere di T o R , cambia il segno della forza d'inerzia e anche l'accelerazione!



OSSERVAZIONE: durante il moto, intervengono le spinte prodotte dal motore e le resistenze formate da più componenti, di cui si cerca di sviscerare le componenti, sapendo che la spinta è garantita dal motore. Esistono però sistemi dove il motore è esterno al veicolo (es. funicolare), in cui la trazione è generata da un motore che tira il convoglio. In questo caso, è una banale applicazione della forza T che tira il convoglio mediante una fune.

5 Resistenza al rotolamento: è la resistenza applicata nel punto di contatto veicolo - infrastruttura e c'è sempre perché veicoli e velivoli in moto a terra poggiano su una superficie non regolare e con ruote deformabili e questa combinazione, nell'interazione, dà luogo a una resistenza.



Le sottocomponenti della resistenza a rotolamento sono dovute a

→ attrito ai perni delle ruote;

la ruota è fatta avanzare grazie alla presenza di un albero che la fa ruotare ma questa è collegata a perni che consentono alla ruota di ruotare e al veicolo di stare fermo.

Il perno è costituito da cuscinetti metallici che sospendono il veicolo e la ruota e producono un attrito localizzato che consuma parte dell'energia disponibile

↳ anche le dissipazioni sono scomparibili e danno luogo a una resistenza che è opposta alla direzione di moto

→ urti e moti anormali delle ruote:

la superficie non è mai liscia, perfettamente piana ed è irregolare, cioè è ondata e ogni asperità produce urti nei riguardi della ruota e questi urti si trasformano in resistenze.

→ deformabilità dello pneumatico:

è importante x i sistemi che viaggiano su ruota gommata poiché la ruota non ha un punto ma una superficie di contatto e questo dipende dal gonfiaggio. Se la superficie aumenta, ci sono più effetti sul moto della ruota.

→ rigidità dello pneumatico:

è molto importante perché un tempo si usavano pneumatici convenzionali, meno rigidi e deformabili, a cui davano luogo resistenze a rotolamento maggiori. Oggi si usano pneumatici radiali, con un diverso intreccio delle tele metalliche che stanno al di sotto del battistrada e la cui disposizione ha contribuito a ridurre deformabilità e resistenza al rotolamento. Inoltre questa dipende dal tipo di gomma e gomme sintetiche (meno costose) sono soggette a maggiore resistenza.

Così la resistenza al rotolamento \times deformabilità non dipende solo dalla deformabilità del battistrada e dipende anche dalla deformabilità della pavimentazione (se questa è molto deformabile - strade bianche - la resistenza è aumentata).

I valori tipo \times la sola deformabilità dipendono anche dal veicolo in sé

→ $R_r = 15 \div 20 \text{ N/kN}$ x autoveicoli

→ $R_r = 20 \div 30 \text{ N/kN}$ x autocarri

Esistono formule che danno la resistenza al rotolamento \times vari casi (di origine sperimentale) e qui è espresso come coefficiente di resistenza al rotolamento r_r , che è la resistenza \times unità di peso del veicolo

Formula di Andreau:
Intervengono velocità e pressione di gonfiaggio p

Si nota che → a velocità maggiori, r_r aumenta (cioè la resistenza a rotolamento cresce con la velocità)

→ a pressioni minori, r_r aumenta (più si gonfia la ruota, più la resistenza cresce)

In particolare, la resistenza al rotolamento dipende da

→ Velocità: a maggiori velocità, ci sono deformazioni maggiori perché si applica una coppia motrice maggiore, la superficie è messa a una velocità maggiore e si dissipa più energia

→ temperatura: questa fa aumentare il volume e dunque la pressione dell'aria all'interno dello pneumatico e così diminuisce la deformabilità, sebbene la gomma sia più deformabile. C'è dunque una sorta di compensazione degli effetti dove però la resistenza diminuisce.

CASO DELLE FERROVIE:

qui la deformabilità è piccola, a parità di peso trasportato, la resistenza a rotolamento è molto minore rispetto al caso stradale (la piccola dissipazione giustifica l'uso del sistema ferroviario).

C'è però una differenza, legata all'attrito nei perni. Questo è piccolo anche in campo ferroviario ma, poiché la deformabilità è molto più piccola rispetto al caso stradale, dunque lo è il suo effetto, il valore di resistenza ai perni è confrontabile con la resistenza di deformabilità. Così l'attrito ai perni non è più trascurabile.

L'attrito ai perni entra per lo più in gioco nella fase di avvio del moto perché qui tutti i cuscinetti sul locomotore e vagoni s'innescano e cominciano a ruotare e sono tanti

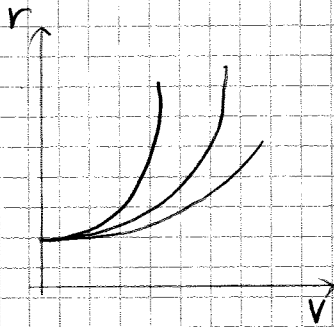
⇒ l'attrito ai perni è una componente significativa ed è molto sentito in avvio (mentre la resistenza \times deformabilità vale circa $1 \div 2 \text{ N/kN}$ ed è un ordine di grandezza più basso rispetto alle strade).

Resistenza ordinaria:

x i veicoli stradali, è la somma della resistenza a rotolamento e resistenza aerodinamica.

Esiste un'espressione che fornisce il coefficiente di resistenza ordinaria (x unità di peso) in termini della velocità, attraverso una formula binomia, poiché i dati sperimentali si appoggiano su una parabola centrata sull'asse y

$$r_{0,S} = a + bv^2$$

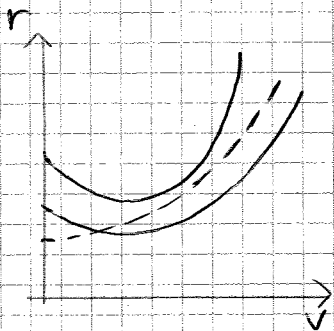


Le curve considerate sono curve di inviluppo e sono disponibili i valori di a e b.

Ad es x un'autovettura di serie a 100 km/h si ha

$$r_{0,S} = 50 \text{ N/kN}$$

Sapendo che la resistenza aerodinamica cresce molto di più di quella a rotolamento con la velocità (perché dipende dal suo quadrato) 20 N/kN sono dovuti a rotolamento e 30 N/kN sono dovuti alla resistenza aerodinamica.



Nel caso delle FERROVIE, tendenzialmente si usano formule trinomie

$$r_{0,F} = a + cv + bv^2$$

Le curve tipiche hanno un minimo nei primi 20-30 km/h (x le strade è circa a 0 km/h - si trasla), perché all'inizio conta molto la resistenza di attrito ai perni e poi, quando i cuscinetti sono in movimento, la resistenza diminuisce e quella aerodinamica è bassa. Poi l'effetto aerodinamico diventa maggiore e la curva risale.

Per questo, le parabole nel piano $r-v$ non sono centrate nell'asse y e compare il termine cv .

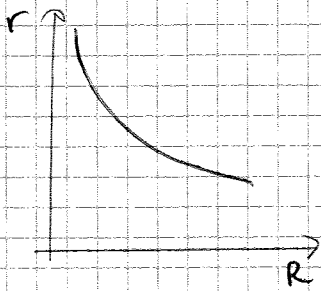
Esistono anche formule binomie, anche se a sinistra non forniscono una buona approssimazione del grafico, mentre approssimano bene nella zona di alte velocità.

PROPRIETÀ → nei locomotori isolati si ha una curva di resistenza specifica più alta rispetto alle singole carrozze ma, quando li si combinano in treni completi, si ottiene un valore intermedio, poiché si divide x il peso totale

→ nelle ferrovie l'ordine di grandezza è più basso e va da 2-4 a 10 N/kN, x velocità di 160 km/h, mentre x un'autovettura sportiva su strada si ha 60-70 N/kN a pari velocità.

Oggi però le curve si sono abbassate rispetto al passato.

→ RFI adotta delle espressioni precise x treni viaggiatori e merci e i coefficienti delle formule binomie cambiano a seconda del treno e, soprattutto, di quando il moto avviene all'aperto o in galleria. In galleria, la resistenza aumenta molto perché il convoglio occupa quasi tutta la sagoma della galleria e spinge via l'aria e la poca aria che passa attraverso il veicolo passa attraverso il veicolo e la calotta e' aria compressa che es' → ita una resistenza aerodinamica maggiore rispetto alla resistenza in ambiente aperto.



Esiste una formula di origine sperimentale che dice che la resistenza specifica vale

$$r_c = \frac{m}{R-n}$$

dove R è il raggio di curvatura (in metri) e m e n sono coefficienti sperimentali definiti in funzione del tipo di ferrovia, nelle Ferrovie ordinarie, si ha

$$m = 650 \quad n = 55$$

e x raggi oltre i 1000 m, questa resistenza è trascurabile (vale 0,5) mentre x $R = 200$ m si ha 9,2 (stesso ordine di grandezza delle strade a 160 km/h, x cui non è trascurabile).

9 Gradi di prestazione:

nelle ferrovie, la resistenza in curva è così importante che viene sommata con la resistenza di livelletta e si compone la cosiddetta livelletta fittizia.

Si parla di "livelletta" perché se la resistenza di livelletta è uguale alla pendenza del tratto e la resistenza in curva è data da tabelle, queste sono sommabili perché adimensionali e convergono nel termine di livelletta (si aggiunge un po' di livelletta). La somma è fatta tratto x tratto.

Le ferrovie suddividono le linee nelle cosiddette sezioni di carico, lungo cui la pendenza è quasi costante (non è rettilinea e dunque c'è oscillazione), con valore dato dalla più grande di tutte le livellette fittizie del tracciato.

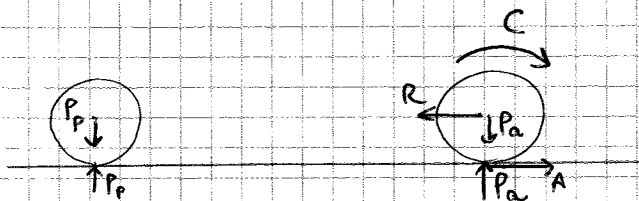
Poiché queste livellette sono maggiori, cioè si converte in resistenze addizionali significative e questa resistenza va vinta con una spinta T maggiore, data dalla locomotiva.

Di conseguenza, queste livellette fittizie sono convertite nei cosiddetti gradi di prestazione delle ferrovie. Ad es. fino a 4,5 di livelletta, il grado di prestazione è 1, a 5 diventa 2 e così via. Il massimo grado di prestazione è 31, corrispondente a una somma di resistenze pari a 60,5 N/kN, e così nel progetto di una linea ordinaria non si può superare questo grado perché FS lavora fino a lì.

In campo ferroviario, ogni grado di prestazione corrisponde a una o più composizioni di convoglio e servono a COMPORRE I TRENI, in termini di locomotive ed elementi trainati.

10 Veicoli a più assi:

negli autoveicoli ci sono 2 ruote motrici e dunque un asse motore a cui è collegato il motore, mentre nei veicoli commerciali ci sono 2 assi motori e una serie di assi trainati in cui le ruote sono diverse.



Semplificando il problema al caso di 1 asse motore e 1 asse trainato, ci sono delle differenze nelle tipologie

→ RUOTA MOTTRICE: in essa è applicata la coppia motrice M_r ed è soggetta alla resistenza. In teoria, la resistenza è applicata a tutte le ruote, ma nel modello considerato, poiché tutte le forze sono applicate

12 Condizioni di moto:

al crescere della coppia motrice, ci sono 3 condizioni di equilibrio

I Si è fermi con il veicolo. Si applica una data coppia motrice M_e che dà luogo a una spinta T , che risulta essere inferiore alle resistenze da rotolamento, etc.

$$T < R$$

ed è anche minore rispetto al valore di aderenza

$$T < f_a P_a \quad f_a = \text{coefficiente di aderenza}$$

↳ equazione simile a quella dell'attrito
(coefficiente di aderenza x peso scaricato)

Sotto queste condizioni, con la prima s'impone che il punto O non ceda e non si muova (T non vince R) e con la seconda che non si vinca il vincolo in C. Così la coppia motrice non basta, i due vincoli sono fermi e la ruota non avanza.

$$T < R, T < f_a P_a \Rightarrow \text{ruota ferma}$$

II Quando T eguaglia R ma non supera il più grande valore dell'aderenza, cede il vincolo al perno ma non cede il vincolo al piede. Così rimane il vincolo di contatto ma è vinto il vincolo al perno e la ruota avanza, facendo perno su O.

$$T > R, T < f_a P_a \Rightarrow \text{ruota avanza}$$

III Quando T è anche uguale al valore massimo e dunque arriva al LIMITE DI ADERENZA, il vincolo in C cede come prima ma cede anche il vincolo in E e la ruota comincia a slittare.

$$T > f_a P_a \Rightarrow \text{ruota slitta}$$

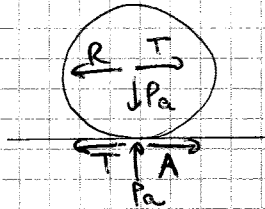


In fatti, x poter rotolare, bisogna fare perno sul contatto e dunque vincere la resistenza di perno ma rimanere aderenti al punto di contatto.
Lo slittamento avviene x eccessiva coppia motrice

Aderenza

1 Aderenza: è la forza con cui la strada reagisce all'azione esercitata dalla ruota (mentre la trazione è applicata dalla ruota sulla strada).
In condizioni di equilibrio, si ha

$$T = A$$



L'aderenza ha un limite superiore, pari al prodotto $f \cdot P_a$, ed è proporzionale al peso scaricato dal veicolo. Per avere più aderenza, infatti, un buon accorgimento è aumentare il peso aderente P_a . In tal modo, si può aumentare lo sforzo T applicabile.

↓ P_a è il peso agente sull'asse delle ruote motrici (alcune) o delle ruote frenate (tutte) e dunque esso assume significati diversi a seconda delle condizioni di moto.

2 COMPONENTI DELL'ADERENZA:

si sa che l'aderenza è la forza con cui la strada risponde alla trazione ma come risponde fisicamente?

L'aderenza è determinata da alcuni fenomeni al contatto e ha più componenti al contatto ruota-strada.
L'aderenza è dovuta a

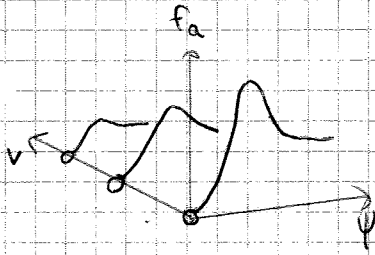
→ adesione: è la capacità di corpi di natura diversi di attrarsi a vicenda, secondo legami di natura elettrochimica in cui si scambiano cariche al contatto di corpi diversi in materiali diversi o identici (es. ferrovia).

→ attrito: a seguito dell'allungamento delle fibre, cioè sempre strisciamento, cioè scarrimento tra le superfici e dunque attrito.

↓ In genere, l'aderenza non è attrito, ma a volte coincidono.

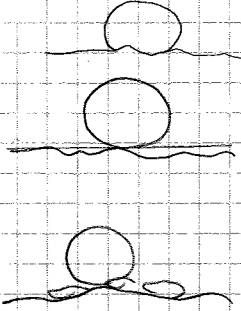
→ deformazioni della gomma: è dovuta all'asperità della superficie stradale, a cui avviene una sorta di isteresi nella gomma (deformazione ciclica) e una sorta di ingranamento meccanico tra le 2 superfici.

⇒ l'aderenza è composizione e di questi fenomeni locali, che concorrono a definirlo.



Al variare dei valori di velocità, il picco scende e diminuisce anche il valore corrispondente a $\psi = 1$.
In ingegneria stradale, si studia l'interazione ruota-strada dal punto di vista della strada (non della ruota) nella parte a destra del diagramma, $x(\psi \rightarrow 1)$ (dove i valori dipendono dalla velocità).

4 L'aderenza è condizionata da più fattori (e ci sono diverse curve in funzione delle condizioni)



→ quando è asciutto, non c'è contatto continuo ruota-strada perché la ruota è tassellata e la strada non è liscia

→ in presenza di liquidi, questi si frappongono tra il battistrada e la pavimentazione, modificando il coefficiente di aderenza.

A parità di ruota e di superficie stradale, quando è bagnato con un film sottile o spesso o c'è neve e ghiaccio, non c'è più adesione e l'aderenza crolla (decrece in funzione dello scorrimento)

→ inquinanti ed elementi solidi, a cui non si viaggia sulla strada ma sulle particelle e l'aderenza è minata.

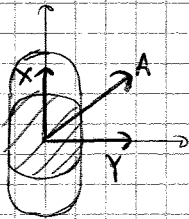
5 Coefficienti di aderenza:

il coefficiente di aderenza non può essere considerato in qualunque direzione ma va distinto perché esistono

→ un'aderenza longitudinale

→ un'aderenza trasversale

In fatti, l'azione scambiata tra ruota e strada non è sempre orientata nella direzione del moto ma, in genere, la forza che la strada restituisce alla ruota può essere inclinata rispetto all'asse di avanzamento del veicolo a più cause.



Una di esse è la FORZA CENTRIFUGA nelle curve, che è scambiata al contatto e, combinando forza di trazione con forza centrifuga, l'aderenza non coincide con nessun asse.

Dunque, data la forza totale scambiata, il sistema delle sollecitazioni è caratterizzato da tensioni normali che si scaricano in modo perpendicolare sulla superficie di contatto e le tensioni tangenziali sono in parte scaricate in direzione x e y .

Se si scompone l'aderenza A nelle componenti X e Y , si ha che

$$X = \int_S \tau_x dS$$

$$Y = \int_S \tau_y dS$$

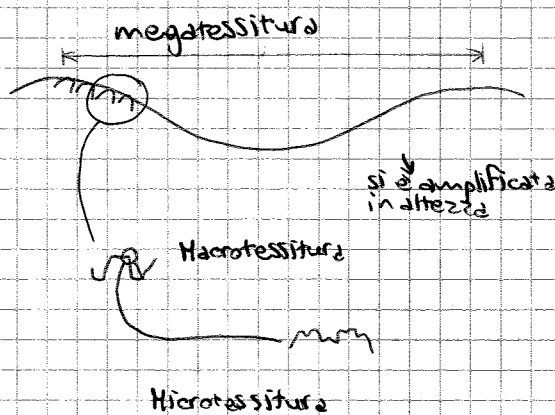
Da qui, se si ricava il coefficiente di aderenza in funzione di X e Y , si possono definire il

→ coefficiente di aderenza longitudinale

$$f_{a,l} = \frac{X}{P_n}$$

FATTORI CHE INFLUENZANO L'ADERENZA

→ irregolarità della superficie stradale



La superficie stradale non è liscia e l'irregolarità è leggibile a diverse scale.

Nell'ambito dell'IRREGOLARITÀ LONGITUDINALE, esiste una profondità di megatessitura, leggibile sulle grandi scale. Infatti, quando si investiga la strada a lunghi tratti, si vede una differenza di quota.

Quando poi si restringe l'analisi a una porzione di superficie abbastanza limitata, compaiono altre irregolarità su questa superficie (già irregolare) legata al materiale con cui è costituita la strada. Essendo un materiale granulare, la granularità dà luogo a macro-tessitura.

Se si riduce ancora la scala e si vede come è fatto il granulo, si nota che c'è una scabrezza superficiale che evidenzia un'ulteriore irregolarità leggibile su scale ancora più piccole, cioè la microtessitura.

Dunque ci sono più scale di irregolarità e a queste corrispondono differenti scale di lunghezza di lettura a cui corrisponde una differenza di quota che può cambiare in certi casi.

Così, partendo dall'orizzontale, in piccola scala si legge una deviazione rispetto all'orizzontale data da una scabrezza di $0,5$ mm e in verticale da $0,2$ mm.

Poi si amplifica sulla grande scala, fino a leggere una deviazione sul piano verticale dell'ordine di 200 mm.

Le varie scale sono dette scale di tessitura, necessarie perché le superfici non sono perfettamente lisce ma irregolari già quando sono costruite e poi, con effetto del traffico, le irregolarità si possono propagare e manifestarsi a diverse scale.

PROPRIETÀ → le irregolarità possono essere interpretate come ONDE con una certa lunghezza e ampiezza

→ la microtessitura è una caratteristica dei granuli (scabrezza) ed è utile ai fini della sicurezza. Infatti, componenti dell'aderenza sono l'attrito e l'ingranamento e la macro-tessitura consente l'ingranamento meccanico tra battistrada e superficie stradale, a cui è una deviazione rispetto al piano orizzontale ben accettata.

Inoltre la forma dei canali superficiali permette di muovere l'acqua piovana, che non corre sulla superficie ma s'infila nei canali e si allontana dalla ruota.

Sono poco accette le scale legate alla megatessitura e all'irregolarità della superficie, a basso comfort e la sicurezza.

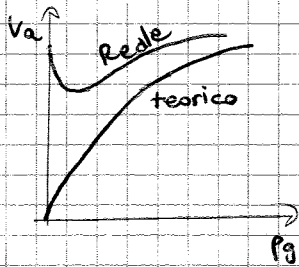
La macro-tessitura ha un buon ruolo nell'interazione ruota-superficie perché l'acqua contaminata il contatto battistrada-strada e riduce la sicurezza, poiché si insidia tra essi in diversi modi, a seconda della velocità di avanzamento della ruota.

→ bassa velocità ⇒ buon contatto

→ alte velocità ⇒ il contatto si riduce

Inoltre ha un ruolo la SCALPITURA DEL BATTISTRADA in quanto, con pneumatica liscia, c'è un forte arretramento e si perde aderenza a velocità minori.

⇒ il codice della strada prescrive una scarpatura del battistrada non inferiore al millimetro, se no si riduce la velocità limite alla quale s'innescia idroscivolamento.



La velocità di idroscivolamento, cioè la velocità limite al di sopra della quale si galleggia, è data da un'equazione sperimentale semplice

$$V_a = 65 \sqrt{P_g}$$

In essa interviene la PRESSIONE DI GONFIAGGIO P_g , perché è ciò che riesce a incidere sulla capacità di dissipazione della pressione d'acqua. Infatti, quando la ruota tocca la strada, essa esercita una pressione che è proprio P_g . Se la pressione dell'acqua supera P_g , la ruota non può andare a contatto (ciò accade nella fase iniziale) e solo quando la pressione di gonfiaggio è maggiore, si può avere contatto.

↓
è un gioco di pressioni, dove ha un ruolo la pressione di gonfiaggio

VALORI TIPICI → autovetture

$$P_g = 2 \text{ kg/cm}^2$$

⇒ $V_a = 100 \text{ km/h}$
(è una stima più grassolana rispetto agli 80 km/h, perché ci sono meno dati)

→ autocarri

$$P_g = 7 \text{ kg/cm}^2$$

⇒ $V_a \geq 120 \text{ km/h}$
(poiché è oltre la velocità consentita, l'idroscivolamento non è tanto importante e i mezzi pesanti)

→ velivoli

$$P_g = 12 \text{ kg/cm}^2$$

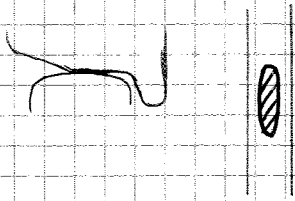
⇒ $V_a = 250 \text{ km/h}$
(questa è la velocità di avanzamento dei velivoli in fase di atterraggio, a cui l'idroscivolamento è un problema dei velivoli)

Casi l'idroscivolamento riguarda

→ AUTOVETTURE in campo stradale

→ VELIVOLI negli aeroporti

Contatto ruota - rotaia: nell'interazione nel caso ferroviario, si nota che c'è un'aderenza longitudinale, mentre l'ADERENZA TRASVERSALE È PROSSIMA ALLO ZERO, a cui questa è trascurata nella progettazione (mentre il coefficiente longitudinale è ≈ 1).



Questo perché l'area di contatto è molto stretta e c'è una piccola superficie ellittica. In tale superficie, è trasmessa una grande forza verticale, a cui le azioni longitudinali e trasversali sono poco importanti rispetto a quella verticale.

Le azioni longitudinali sono considerati negli spazi di frenatura e accelerazione e questi, a il basso coefficiente di aderenza, sono molto più lunghi rispetto al caso stradale.

Per quanto riguarda l'entità di accelerazioni e decelerazioni, ci sono degli ordini di grandezza di riferimento

→ autovetture $|a| = 1 \text{ m s}^{-2}$

→ Ferrovie $|a| = 0,1 \text{ m s}^{-2}$

(un ordine di grandezza in meno a via dell'aderenza)

3 Equazione della trazione per veicoli terrestri

Per strade e ferrovie, si può riscrivere l'equazione della trazione

→ **MOTO UNIFORME**: in esso, si considerano le resistenze ordinarie e quelle addizionali espresse in maniera adimensionale, riferite all'unità di peso (resistenze specifiche)

$$T = R_R + R_a + R_i + R_c =$$

$$= P(r_{ord} \pm i + r_c)$$

$$T = P(r_{ord} \pm i + r_c)$$

r_{ord} : è stimato da modelli e in essa interviene R_R con R_a

i : resistenza legata alla livellata, positiva o negativa a seconda che il tratto percorso sia in salita o discesa (contribuisce alla resistenza o alla trazione)

→ **MOTO VARIO**: in questo caso, si aggiunge il contributo inerziale

$$T = P(r_{ord} \pm i + r_c + \frac{\beta}{g} \frac{dV}{dt})$$

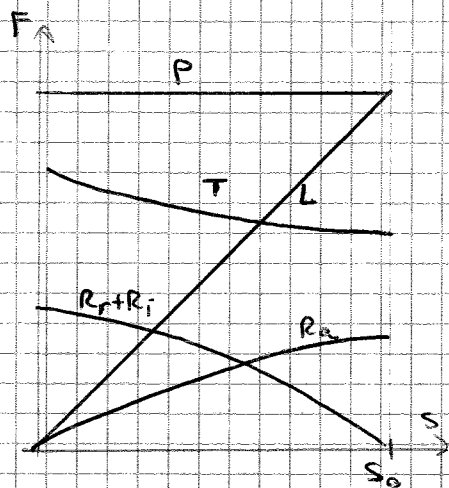
Questo vale in generale, ma si può scrivere un'equazione della trazione per le strade come

$$T = P(r_R \pm i) + \frac{1}{2} \rho c S v^2 \left(+ \beta \frac{P}{g} \frac{dV}{dt} \right)$$

r_R = resistenza specifica x rotolamento

$\frac{1}{2} \rho c S v^2$ = contributo della resistenza aerodinamica (funzione della velocità)

Come si evolve l'equazione di trazione nella fase di decollo?



Nella fase di decollo, l'aereo inizia a muoversi fino al punto di distacco s_0 , dove $L > P$. Si suppone che il peso P sia costante, trascurando il consumo di carburante.

Allora lo sforzo di trazione T è pressoché costante, con una leggera diminuzione dalla partenza a quando arriva alla velocità massima, poiché all'inizio accelera di colpo e poi riduce la trazione.

La resistenza aerodinamica R_a , essendo funzione quadratica della velocità, è nulla a veicolo fermo e poi diventa importante, con un massimo nel punto di distacco.

Le resistenze di invelletta e di rotolamento sono sempre meno importanti all'aumentare della velocità (in genere, le piste sono in piano).

La portanza invece cresce all'aumentare della velocità, fino al punto di distacco, dove ha un massimo e coincide con il peso P .

Questa equazione è utile a definire, in base al velivolo, lo spazio necessario a decollare o atterrare in condizioni di sicurezza e comfort.

5 Spazi di frenatura:

è una tipica applicazione delle equazioni di trazione nell'ambito stradale.

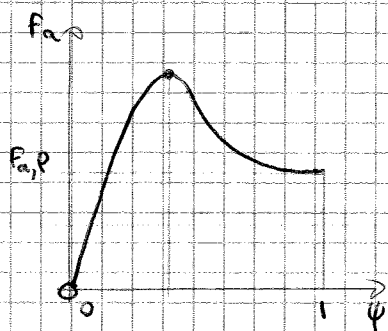
Lo spazio di frenatura è lo spazio necessario a fermare il veicolo

In questo caso, ci si riferisce alla ruota frenante, in cui $T = 0$ ed è applicata una coppia frenante M_f . Il contributo dei perni M_a è piccolo e trascurabile.

In questa situazione, corrisponde lo scorrimento puro ($\psi = 1$), cioè la ruota è bloccata e scorre sulla pavimentazione.

Quando tutte le ruote sono frenate, si ha che $P_a = P$ e dunque si può da qui applicare l'equazione di trazione

$$P_a \left(r_R \pm i + r_c + \frac{\beta}{g} \frac{dU}{dt} \right) + \frac{1}{2} \delta c_s U^2 + \frac{M_f}{r} = 0$$



M_f/r è la forza generata dal momento frenante e, essendo in condizioni di scorrimento puro, si è in condizioni limite di aderenza, a cui lo si può esprimere in termini del coefficiente di aderenza

$$\frac{M_f}{r} = f_{a,p} \cdot P_a$$

In ambito progettuale, a scorrimento puro c'è una certa aderenza limite $f_{a,p}$, e di norma pari al 90% del valore massimo.

Ora, immaginando che lo spazio di frenatura sia in RETIFILLO ($\Rightarrow r_c = 0$), si ha

$$P_a \left(r_R \pm i + \frac{\beta}{g} \frac{dU}{dt} \right) + \frac{1}{2} \delta c_s U^2 + f_{a,p} \cdot P_a = 0$$

Si divide x il peso aderente P_a

Prestazioni sulle livellette

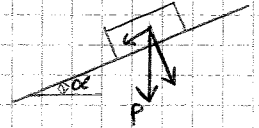
è un'altra applicazione dell'equazione di trazione, x valutare le prestazioni dei veicoli.
Ci sono 2 casi

→ massima pendenza superabile da un veicolo;

qui occorre fare una distinzione tra autovetture e veicoli pesanti.

Si risolve l'equazione in funzione della pendenza

$$\frac{T - \frac{1}{2} \delta c S v^2}{P} = r_R + i + r_c$$



$$i = \frac{T - \frac{1}{2} \delta c S v^2}{P} - r_R - r_c \Rightarrow i_{max} = \frac{T_{max} - \frac{1}{2} \delta c S v^2}{P} - r_R - r_c$$

$$r_c = \frac{T_{max} - \frac{1}{2} \delta c S v^2}{P} - r_R - r_c \quad \frac{B}{g} \frac{dv}{dt}$$

Qui interviene lo sforzo di trazione massimo T_{max} .

Si nota che a favore del superamento ci sono lo sforzo di trazione massimo (più il veicolo è potente, più riesce a superare) e l'inerzia (sembra essere sfavorevole x il segno meno ma qui si decelera, x cui contribuisce alla trazione).

Contro la pendenza sono la resistenza aerodinamica, quella di rotolamento e il peso del veicolo.

A questo punto, bisogna definire a cosa corrisponde T_{max} :

da una parte, c'è la potenza massima W_{max} messa a disposizione dal motore e trasmessa al motore, x cui

$$T_{max} = \frac{W_{max}}{v}$$

Da qui si può definire la pendenza massima in termini di potenza

$$i_{max} \leq \frac{\frac{W_{max}}{v} - \frac{1}{2} \delta c S v^2}{P} - r_R - r_c \quad \frac{B}{g} \frac{dv}{dt}$$

Se si è in condizioni di moto uniforme, si trascura l'inerzia e la relazione si semplifica. $\frac{W}{P} = v(r_R + i)$

In realtà interviene sempre l'ADERENZA perché considerando la massima componente di aderenza, si definisce una nuova condizione limite

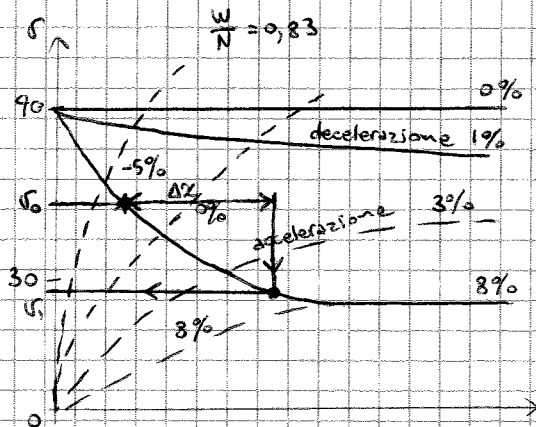
$$T = A \leq f_a P_a$$

Quando l'aderenza è tutta impegnata, c'è slittamento e il veicolo non avanza più, x cui si ha un'altra condizione limite.

Casi si fa un'altra verifica dove si pone T pari all'aderenza disponibile e si verifica che sia minore o uguale alla massima aderenza che si può fornire

$$T = f_a P_a \quad i_{max} \leq \frac{f_a P_a}{P}$$

restare =

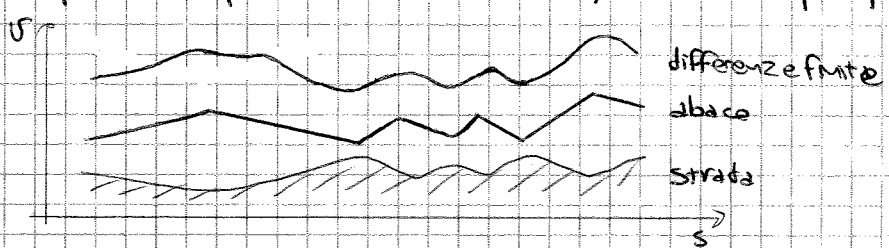


Un'altra via è ricorrere agli ABACHI.
Esistono dei profili distinti in base alla potenza specifica w/P (veicoli diversi possono rientrare nella stessa potenza specifica) e, in base alla pendenza della livelletta, ci sono delle curve di accelerazione in discesa e di decelerazione in salita, a partire da diverse velocità iniziali.

In pianura, si viaggia alla velocità massima. Partendo da fermi, in discesa la velocità aumenta mentre in salita si può accelerare fino a una certa velocità. Se invece si parte in salita con alte velocità, si decelera.

Per leggere l'abaco, si parte da una certa velocità iniziale e si cerca la curva di interesse. Dall'intersezione con la curva, ci si sposta in orizzontale di un tratto lungo quanto la livelletta (non ci si sposta da 0 ma dal punto di incrocio) e poi si legge in ordinata la velocità finale.

Gli abachi, rispetto alle differenze finite, forniscono un andamento più semplificato delle velocità perché si considerano solo la velocità d'inizio e fine livelletta, mentre le differenze finite danno un risultato più complesso e affidabile a seconda del passo d'integrazione. Dunque la scelta dipende dal tipo d'informazione voluta, ma l'abaco è più speditivo.



APPLICAZIONE: lo studio delle prestazioni si lega molto alla velocità dei mezzi pesanti nei tratti di salita/discesa a forte pendenza. In essi, infatti, i veicoli pesanti hanno comportamento diverso rispetto alle autovetture e possono essere di intralcio se la loro velocità è minore del 50% rispetto a quella mantenuta dalle autovetture. Visto che si vogliono evitare sorpassi rischiosi, si costruiscono corsie specifiche dette corsie di arrampicamento, destinate ai camion.

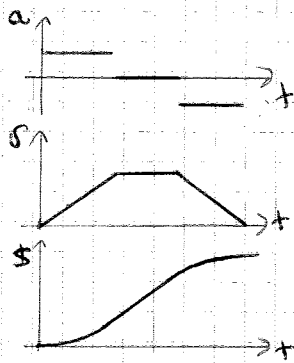
- Per fare ciò, occorre avere delle velocità di progetto suggerite x le autovetture
- > x $i < 6\%$, ci si riferisce a una velocità di progetto legata al tipo di strada
 - > x $i > 6\%$, è fornita una velocità, indipendentemente dal tipo di strada.

→ DIMENSIONAMENTO DELLA SEZIONE TRASVERSALE (legge di deflusso)

$$Q = v_m \cdot k$$

dove v_m è la velocità media, considerata costante lungo la sezione di progetto.

3 Moto uniformemente accelerato



→ il diagramma di velocità diventa trapezio, in cui la velocità cresce linearmente (con pendenza data dall'accelerazione)

→ lo spazio cresce quadraticamente

→ l'accelerazione è costante

In genere, l'accelerazione a vale v/t , x cui

$$v = at$$

$$s = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} vt = \frac{v^2}{2a}$$

Nell'ambito della progettazione, si considera il moto uniformemente accelerato

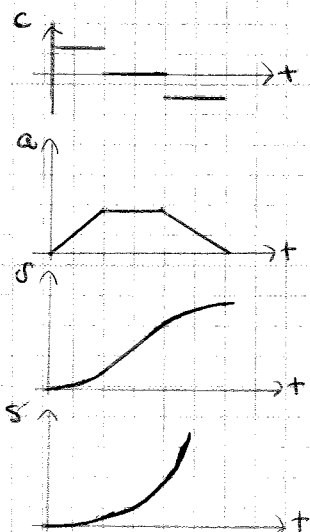
→ quando i transitori sono rilevanti rispetto all'intera condizione di moto (rispetto al tempo dell'intero evento), x cui non si possono trascurare le fasi dell'accelerazione e di decelerazione

→ fase di arresto nelle ferrovie

→ tratti terminali delle corsie di accelerazione (terminale di accelerazione), in cui si cerca di arrivare a una velocità prossima alla velocità di flusso
 tratti terminali delle corsie di decelerazione (terminale di decelerazione), in cui si arriva nel tratto di manovra e poi si giunge a una certa velocità x percorrere la curva

↓ fissata l'accelerazione (dalla norma), bisogna garantire la giusta lunghezza

4 Moto a contraccolpo costante



In esso, il contraccolpo è in certe fasi uniforme o nulla e a questo corrisponde una crescita di accelerazione, un tratto costante e una decrescita (è sempre positiva).

A questo corrisponde un tratto dove la velocità cresce quadraticamente o linearmente e lo spazio cresce con legge quadratica o cubica.

Il contraccolpo è considerato non nella direzione del moto ma nella DIREZIONE TRASVERSALE al moto come nelle moto in curva. In quelle condizioni, il veicolo si dice che è accelerato verso il centro della curva perché nelle condizioni di moto circolare uniforme, il punto si muove lungo la curva e la deviazione angolare α rappresenta l'angolo formato dalle rette tangenti in 2 determinati punti della traiettoria (angolo tra le 2 traiettorie). Esso rappresenta l'angolo di cambio della direzione dell'accelerazione a .

Raggi minimi di manovra

1. Lungo un'infrastruttura si possono verificare diverse velocità.

Ad es.

Ad es. nel tratto tra 2 intersezioni, si ragiona con alte velocità. All'intersezione, nella svolta, però non si mantiene la velocità di progetto x rettilinei e curve, cioè non è più importante la velocità di progetto nelle fasi di svolta, poiché lì non interviene più tanto la velocità di esecuzione della manovra ma le implicazioni che la manovra porta.

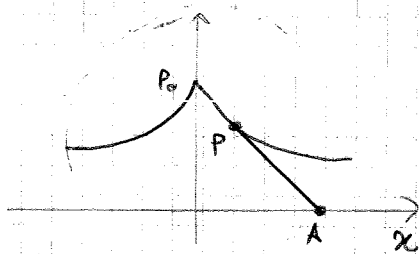


Ad es. in una curva di raggio 10 m , un autotreno M gomba molto trasversalmente e, x progettare un cordolo e dimensionarlo, non serve la velocità ma hanno ruolo l'angolo, il raggio di curvatura, etc.

\Rightarrow l'analisi è indipendente dalla velocità

2. Dimensionamento geometrico degli elementi nella zona della curva

In una curva c'è una curva di riferimento detta trattrice:



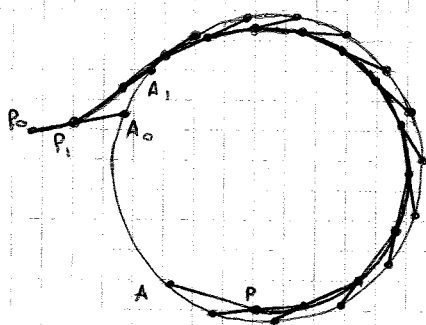
è il luogo dei punti tali che il segmento della tangente in ogni punto, compreso tra il punto di contatto e l'intersezione con la linea di base (cioè la traiettoria), ha lunghezza costante.

In particolare, l'asse sterzante segue la linea di base e l'asse trainato segue la trattrice (cerchiamo di seguirlo ma non coincidono)

Già con traiettorie semplici c'è un'equazione differenziale e nello studio del moto di veicoli e velivoli, la determinazione della trattrice è importante perché bisogna risolvere la questione dell'INSERIMENTO DEL VEICOLO ALL'INTERNO DELLO SPAZIO STRADALE.

Il metodo analitico è complesso già quando la linea base è una retta.

\Rightarrow c'è un'altra via: costruzione grafica della trattrice



Data una linea base (qui è una circonferenza), il veicolo ha asse sterzante in A_0 e asse trainato in P_0 , con asse secondo la congiungente A_0P_0 .

All'inizio il veicolo è fermo e con le ruote sterzate.

Poi è messo in moto e va in A_1 , mentre l'asse posteriore (che non può sterzare) segue A_0 secondo un asse rigido e dunque segue la direzione A_0P_0 .

Così A_0 va in A_1 e P_0 va in P_1 .

Per trovare la posizione di P_1 , si va con il compasso in A_1 e, con apertura A_0P_0 , si traccia un arco e l'intersezione con l'asse A_0P_0 dà P_1 .

Iterando questo procedimento e seguendo infinitesimi spostamenti, si può costruire la trattrice della curva iniziale, con posizione iniziale A_0 non tangente alla curva.

Così si applicano degli spostamenti all'asse sterzante e lo si fa seguire dall'asse trainato e questo è lo stesso approccio del metodo analitico (ma là è continuo, mentre qui è di discreto).

C'è anche un altro triangolo rettangolo

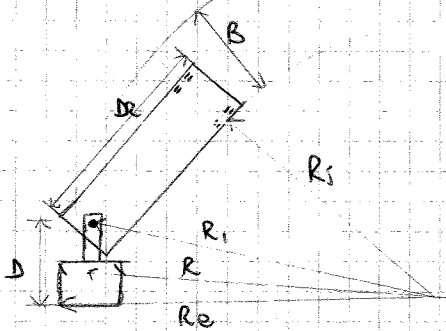
$$(R_i + L)^2 + (D + S_A)^2 = R_e^2$$

Si sono così ottenute 2 equazioni in 2 incognite (sono noti L, D, S_A - dal veicolo - e R - raggio della curva di base seguita).
Da qui si ricavano R_i e R_e e dunque $B = R_e - R_i$

$$\begin{cases} (R_i + \frac{L}{2})^2 + D^2 = R^2 \\ (R_i + L)^2 + (D + S_A)^2 = R_e^2 \end{cases} \Rightarrow B = R_e - R_i$$

B è la misura che si considera nel progettare la larghezza \times asprire il veicolo e si nota che, in questi casi (curve a raggio piccolo e costante \times grandi svolte), trattoria e linea base sono paralleli, \times cui si può prescindere dall'uso della trattoria.

→ AUTOARTICOLATO



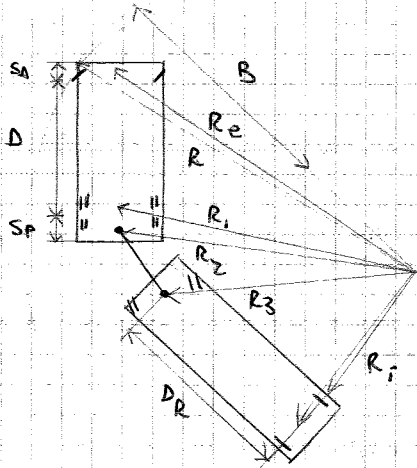
In questo caso, il problema è analogo e, come grandezze si aggiungono R_i = raggio interno dell'asse trainato del semirimorchio, L_R = larghezza del semirimorchio, D_R = distanza dell'asse dal perno del semirimorchio e R_i = raggio percorso dal semipierno.

In questo caso, si applica il teorema di Pitagora di 3 triangoli rettangoli.

⇒ 3 equazioni in 3 incognite

$$\begin{cases} (R_i + \frac{L_R}{2})^2 + D_R^2 = R_i^2 \\ (R_i + \frac{L}{2})^2 + (D + S_A)^2 = R_e^2 \\ R_i^2 + D^2 = R^2 \end{cases} \Rightarrow B = R_e - R_i$$

→ AUTOTRENO



In questo caso, intervengono la motrice, il rimorchio e il tiratore (con un'equazione relativa a esso). Il risultato è dato da 5 equazioni in 5 incognite, legate ai triangoli rettangoli.

$$\begin{cases} R_i^2 + D^2 = R^2 \\ (R_i + \frac{L}{2})^2 + (D + S_A)^2 = R_e^2 \\ R_i^2 + S_P^2 = R_2^2 \\ R_3^2 + T^2 = R_2^2 \\ (R_i + \frac{L_R}{2})^2 + D_R^2 = R_3^2 \end{cases} \Rightarrow B = R_e - R_i$$