

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DEI TRASPORTI DI NAPOLI
“LUIGI TOCCHETTI”

**ESERCIZI DI TECNICA ED ECONOMIA DEI
TRASPORTI**

di

VINCENZO PUNZO

1) Si calcoli la pendenza massima di un piano di stazione ferroviario che garantisce che il treno non si avvii anche nel caso di rottura dei freni. Si assuma per le resistenze ordinarie un valore di 2.5 kg/ton.

2) Calcolare il peso di un locomotore di manovra che deve muovere con un'accelerazione di 0.3 m/s² un convoglio che pesa a pieno carico 200 ton, su di una rampa ferroviaria con una pendenza dello 0.3%. Si assumano:
un coefficiente di aderenza pari a 0.16
un valore di 2.5 kg/ton per le resistenze ordinarie
un coefficiente delle masse rotanti pari a 1.2

3) Un veicolo commerciale pesante 3 ton ha installato a bordo un motore capace di erogare una potenza costante e pari a 100 CV. Nel caso in cui il veicolo si muova in salita su di una livelletta dell'1%, ad una velocità costante di 60 km/h, si calcoli l'accelerazione residua del veicolo. Per il calcolo delle resistenze ordinarie si utilizzi l'espressione:
 $R = 30P + 0.0144V^2$ [kg] con P [ton] e V [km/h]
e nel termine inerziale, un coefficiente delle masse rotanti pari a 1.2.

4) Calcolare lo spazio minimo di arresto per un'automobile che marcia alla velocità di 120 km/h, con il vincolo che siano comunque rispettate le condizioni di aderenza. Si assume che:

- la frenatura avvenga con moto uniformemente decelerato
- il peso totale del veicolo sia egualmente ripartito sulle 4 ruote
- le resistenze al moto siano trascurabili
- la legge di variazione del coefficiente di aderenza sia:

$$f_u = \frac{f_0}{1 + \frac{V}{100}}$$

dove:

V= velocità in km/h

$f_0 = 800$ kg/ton

Si assuma:

$\beta = 1.2$ (coeff. delle masse rotanti)

P = peso dell'automobile = 1 ton

5) Due località A e B distano 40 km. La domanda oraria di spostamenti da A verso B è di 2000 passeggeri/ora. Tale domanda va soddisfatta mediante un servizio di trasporto collettivo su ferro. Nell'ipotesi di diagramma del moto ad accelerazione variabile e contraccolpi costanti e volendo garantire una frequenza di 5 corse/h, si calcoli il numero di convogli per soddisfare la frequenza ed il numero di vetture necessarie per ciascun convoglio per soddisfare la domanda.

Dati del problema:

$$V_{\max} = 100 \text{ km/h}$$

$$a_{\max} = d_{\max} = 1.2 \text{ m/s}^2$$

$$j = 1 \text{ m/s}^3$$

$$t_s = \text{tempo di sosta} = 30 \text{ s}$$

$$L_u = \text{lunghezza del veicolo} = 18 \text{ m}$$

$$L_a = \text{larghezza del veicolo} = 2 \text{ m}$$

$$K = \text{coefficiente di occupazione} = 1.5 \text{ pax/m}^2$$

Posto che:

$$\text{Resistenze ordinarie} = r = 2.5 + 0.00025 v^2 \quad [r = \text{kg/ton}, v = \text{km/h}]$$

(in avviamento si amplifichino del 50%)

$$f_a^0 = \text{coefficiente di aderenza allo spunto} = 0.8$$

$$\beta = \text{coefficiente delle masse rotanti} = 1.3$$

$$\eta = \text{rendimento meccanico del motore} = 0.75$$

si calcoli la percentuale di peso aderente del convoglio necessaria per garantire un'accelerazione allo spunto di 1.2 m/s^2 , e la potenza impegnata del motore perché il vettore ferroviario conservi, ad una velocità pari all'80% della velocità massima, un'accelerazione residua di 1.2 m/s^2 .

6) Si vuole progettare un collegamento ferroviario fra tre località A, B, C e D in maniera tale che siano soddisfatti i vincoli sul tempo di attesa alle stazioni e sulla domanda di spostamenti da servire.

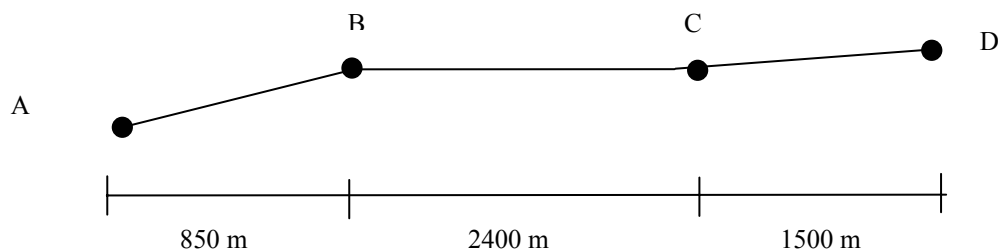


Fig. 1

Si calcoli quindi il numero minimo di convogli necessari perché il valore medio del tempo di attesa sia inferiore a 6 minuti (si consideri una distribuzione uniforme dei tempi di arrivo degli utenti alle stazioni). Nel calcolo del tempo di giro si consideri un diagramma ad accelerazioni variabili e contraccolpi costanti [$a_{\max}=d_{\max}=1.0 \text{ m/s}^2$; $j=1.0 \text{ m/s}^3$] ed un tempo di sosta alle stazioni di 45 secondi.

Come velocità di regime nelle tre tratte si assumano le velocità massime raggiungibili sulle 3 tratte assumendo una caratteristica meccanica di trazione ideale ($N=T \cdot v = \text{cost}$) ed un residuo di accelerazione alla velocità massima pari a 0.3 m/s^2 .

La potenza utile del motore è $N=30 \text{ CV/ton}$.

Le pendenze dei 3 tratti sono:

$$i_{AB} = 0.5\%, \quad i_{BC} = 0\%, \quad i_{CD} = 1.5\%.$$

Per le resistenze ordinarie si adotti la seguente espressione:

$$R_{\text{ord}} = 2.5 + 0.00025 \cdot v^2 \text{ [kg/ton]} \text{ (la velocità nella formula va espressa in km/h)}.$$

Si assuma un coefficiente delle masse rotanti $\beta = 1.2$.

Infine, si calcoli la lunghezza di ciascun veicolo necessaria per soddisfare la domanda di spostamenti fra le 3 stazioni. I valori di tale domanda nel periodo di riferimento (ora) sono i seguenti:

$$D_{AB} = 1000 \text{ [pax/h]}$$

$$D_{BC} = 1000 \text{ [pax/h]}$$

$$D_{CD} = 2000 \text{ [pax/h]}$$

$$D_{DA} = 2000 \text{ [pax/h]}$$

Nel calcolo si assumano una larghezza di 2.5m ed un affollamento di 2 pax/m^2 .

7) Sistema di attesa ad un canale. Calcolare la lunghezza del binario di accumulo (AB) che contenga i treni in coda in attesa di entrare nella stazione con una probabilità $\geq 95\%$ (vale a dire la lunghezza del ramo AB per cui la probabilità che la coda la ecceda sia $\leq 5\%$).

$$\mu = 3 \text{ treni/h}$$

$$\lambda = 2 \text{ treni/h}$$

$$\text{Lunghezza treno} = 150 \text{ m}$$



8) Calcolare il tempo medio di attesa e la lunghezza media della coda ad una barriera autostradale assumendo che:

- il sistema sia schematizzabile come $M/M/1; \infty /FIFO$
- il tempo medio di servizio sia pari a 12 sec.
- La portata da servire sia in media pari a 250 veic/h

Per lo stesso sistema calcolare la probabilità che la coda ecceda il numero di 10 veicoli.

9) Si dimensiona la lunghezza di una corsia di accumulo dei veicoli ad una banchina portuale in maniera che sia capace di contenere la lunghezza massima della coda che si registra nel periodo di sovrasaturazione. Si considerino gli arrivi distribuiti uniformemente nell'ora con un tasso $\lambda = 550$ veicoli/h, ed un servizio di traghetti con una capacità del singolo traghetto di 80 veic e la seguente tabella degli orari delle partenze nell'ora: 7.10 – 7.20 – 7.30 – 7.40 – 7.50 – 8.00. Nel calcolo si adotti una lunghezza media dei veicoli di 5m.

10) Occorre progettare una barriera autostradale per la riscossione del pedaggio. Il sistema è costituito da un ramo autostradale di adduzione alla barriera, da un piazzale, supposto di dimensioni infinite, e da n caselli per la riscossione del pedaggio. Assegnata una funzione di domanda elastica con il tempo di permanenza nel sistema, si calcoli il numero di caselli n che massimizza l'utile di gestione (ricavi – costi).

In particolare sia:

$$V = \frac{V_0}{1 + e^{-k+\alpha t}} = \text{la funzione di domanda dove,}$$

$$V_0 = 1000 \text{ veic/h}$$

$$k = 3.40$$

$$\alpha = 0.06$$

t = il tempo di permanenza nel sistema, in secondi.

L'offerta è invece costituita da un ramo autostradale il cui tempo di percorrenza è calcolabile mediante la seguente funzione,

$$t = t_0 \cdot \left[1 + \delta \left(\frac{V}{CAP} \right)^\gamma \right]$$

$$\text{con } t_0 = \frac{L}{v_0}$$

$$L = 1 \text{ km}$$

$$v_0 = 33 \text{ m/s}$$

$$\delta = 1.5$$

$$\gamma = 1$$

$$CAP = 1500 \text{ veic/h}$$

e da un sistema a barriera del tipo $M/M/1; \infty/FIFO$. A tal proposito, per il calcolo del tempo di permanenza nel sistema si ritenga valida la struttura indicata, anche per un numero di canali superiore ad uno, con l'accorgimento di considerare, come flusso in ingresso, il valore effettivo del flusso V diviso per il numero di serventi n che si sta considerando. Si assuma un tempo di servizio di 12 secondi, un pedaggio di 1€, e si considerino, fra tutte le configurazioni possibili, solo quelle che prevedono rispettivamente 2, 3 e 4 serventi.

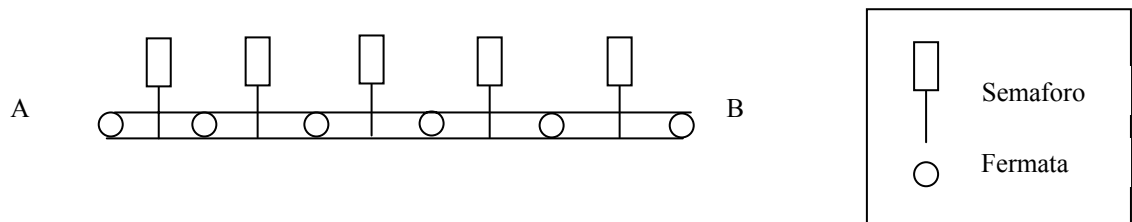
I costi di gestione sono pari a:

$$C_g = 100 + 50 \cdot n \quad [\text{€/h}];$$

Nel calcolo del tempo di equilibrio del sistema ci si arresti quando

$$\left| \frac{t_{imposto}^n - t_{ricavato}^n}{t_{imposto}^n} \right| \leq 0.02.$$

11) L'esercizio seguente è finalizzato al calcolo della perdita di produttività e quindi d'incremento di risorse dovuto alla congestione veicolare su di una linea di trasporto extraurbano in sede promiscua.



A. Caratteristiche della linea:

- la linea collega le stazioni A e B nei due sensi di percorrenza
- la lunghezza fra le due stazioni è di 10 km
- il numero di fermate intermedie: 4
- la distanza fra le fermate: 2 km
- il valore medio della V_{max} in assenza di congestione: 28 m/s
- l'accelerazione massima a_{max} = decelerazione ammessa $a'_{max} = 1.2 \text{ m/s}^2$
- il jerking: 1 m/s^3
- la durata della sosta ad ogni fermata: 25 s

B. Caratteristiche del veicolo:

- Portata autobus: 80 pax

C. Caratteristiche della sede:

- strada a carreggiate separate con una corsia per senso di marcia
- capacità della corsia per flusso ininterrotto: 1900 veic/h
- presenza di 5 intersezioni semaforizzate con il seguente ciclo:

$$C = 70 \text{ s}, \quad g = 45 \text{ s}, \quad R = 25 \text{ s}$$
- flusso di saturazione dell'approccio: 1700 veic/h

D. Caratteristiche del traffico (costanti su tutta la linea):

- veicoli privati: $v = 950$ veic/h
- utenti autobus: 1200 pax/h

Si assume che:

- l'esercizio in traffico promiscuo comporti un'alterazione nel ritmo regolare delle frequenze che si distribuiscono rispetto alla media calcolata alla Poisson
- che ciascuna fermata sia costituita da un'unica banchina.

Si calcoli:

1. La frequenza del servizio per soddisfare la domanda.
2. Il perditempo medio alle intersezioni semaforizzate a flusso nullo ($v=0$).
3. La produttività di un autobus a flusso nullo ($v=0$) (si trascurino le fasi di moto vario in corrispondenza delle intersezioni semaforizzate).
4. Il numero di autobus necessari per garantire la frequenza.
5. Il perditempo medio alle intersezioni semaforizzate in presenza di congestione.
6. La produttività di un autobus in presenza di congestione (si trascurino anche in questo caso le fasi di moto vario in corrispondenza delle intersezioni semaforizzate e si utilizzi per il calcolo del tempo di percorrenza una BPR con parametri $\delta=1$ e $\beta=1$, e con una velocità critica $V_c=14\text{m/s}$).
7. Il numero di autobus necessari per garantire la frequenza richiesta in presenza di congestione.
8. Il perditempo medio alla fermata oltre il tempo programmato.
Per quest'ultimo si utilizzi lo schema di sistema a barriera ad un canale con tempo di servizio variabile alla Poisson e media pari al tempo di sosta alla fermata; e funzione di presentazione sempre alla Poisson con media pari alla frequenza di esercizio degli autobus.

12) Calcolare il traffico generato per un intervento sul sistema di trasporto che comporti un dimezzamento del tempo di percorrenza, assegnata la funzione di domanda (1), ed essendo il tempo di percorrenza prima dell'intervento pari a 30'.

$$(1) \quad V = \frac{V_0}{1 + e^{0.025(-22 + 1.08 t_p)}}$$

dove :

$$V_0 = \quad 00 \text{ [pax/h]}$$

t_p = tempo di percorrenza

13) Data la funzione di domanda (1) e la funzione di costo (2), calcolare la frequenza q per cui è massimo l'utile del gestore, assegnata la tariffa P ($q_{\min} = 4$, $q_{\max} = 8$).

$$(1) \quad V = \frac{V_0}{1 + e^{0.25(-22 + 1.08 \cdot t_a + 0.006 \cdot P)}} \quad [\text{pax/h}]$$

$$V_0 = \text{volume iniziale} = 1500 \quad [\text{pax/h}]$$

$$t_a = \text{tempo di attesa medio} = \frac{60}{2 \cdot q} \quad [\text{min}]$$

$$q = \text{frequenza del servizio} = \quad [\text{corse/h}]$$

$$P = \text{tariffa} = \quad [£/\text{viaggio}]$$

$$(2) \quad C = 1.2 \cdot 10^5 \cdot q \quad [£]$$

14) Due località A e B, distanti 5 km, nella situazione attuale, sono collegate mediante una strada la cui funzione di prestazione è data da una BPR con parametri $\delta = 2$ e $\gamma = 1$ ($V_0 = 100$ km/h e $V_{cr} = 40$ km/h, $CAP = 2000$ veic/h, tasso di occupazione dei veicoli = 1). La domanda è supposta elastica rispetto al tempo di percorrenza. Una sua stima è data dalla seguente espressione:

$$V = \frac{V_0}{1 + e^{-3.4053 + 0.0045 \cdot t}}$$

dove:

$$V_0 = \quad [\text{pax/h}]$$

$$t = \text{tempo di percorrenza della distanza A-B} \quad [\text{s}]$$

Calcolare il volume di equilibrio che impegna la strada nella situazione attuale.

Nel caso in cui si progetti l'inserimento di una autolinea su sede riservata si calcoli la ripartizione del nuovo valore del flusso totale sui due modi tenendo presente che il tempo di percorrenza dell'autolinea è costante e va calcolato con i seguenti dati:

$$V_{\max} = \text{km/h}$$

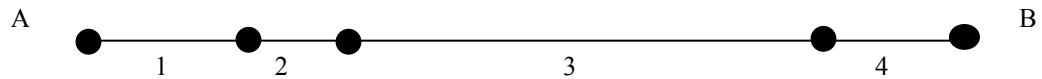
$$A_{\max} = 1.5 \text{ m/s}$$

$$J = \infty$$

Si calcoli altresì il beneficio degli utenti attuali in termini di risparmio di tempo considerando un valore monetario del tempo di 15000 £/h e 3000 ore di esercizio l'anno.

Si calcoli il numero dei veicoli per soddisfare il nuovo sistema considerando una capacità del veicolo di 200 posti.

15) Le località A e B sono collegate mediante un sistema stradale la cui successione dei rami è rappresentata in figura; in tabella sono invece riportate le caratteristiche dei rami.



| Ramo | Tipo di ramo | Lunghezza [km] | N° elementi | Capacità [veic/h] | V_{max} [km/h] | $V_{critica}$ [km/h] | K_j [veic/km] |
|------|----------------------|----------------|-------------|-------------------|------------------|----------------------|-----------------|
| 1 | urbano | 3 | 3 | Da calcolo | 50 | 30 | 100 |
| 2 | barriera di pedaggio | - | 8 | 360 | - | - | - |
| 3 | extraurbano | 20 | 3 | Da calcolo | 110 | 80 | 80 |
| 4 | urbano | 3 | 4 | Da calcolo | 80 | 50 | 100 |

1) Si calcoli il tempo medio di percorrenza del collegamento AB nell'ipotesi di domanda oraria costante e pari a 3000 veic/h. Per il calcolo della capacità degli archi stradali si utilizzi l'espressione di Greenshields; per il tempo di percorrenza degli archi stradali si adotti una BPR di parametri $\delta = 1$ e $\gamma = 3$ (dove con γ si intende l'esponente del grado di saturazione).

2) Nell'ipotesi di domanda elastica si calcoli il flusso di equilibrio domanda-offerta. L'espressione della domanda da utilizzare è la seguente:

$$V_{AB} = \frac{V_{AB}^0}{1 + e^{\alpha \cdot Z_{AB}}}$$

dove:

V_{AB}^0 è il valore di domanda ricavato dal modello di emissione

$$\alpha = 0.25$$

$$Z_{AB} = -22 + 1.08 \cdot t + 0.006 \cdot C$$

t = tempo di percorrenza del tratto AB [min]

C = pedaggio autostradale= 1200 [£/viaggio]

Nelle tabelle seguenti è riportato il numero di attivi, per categoria d'utenza interessata dallo spostamento, e per origine, con i relativi indici di emissione (numero di spostamenti per individuo nel periodo di riferimento):

| Categoria | A |
|-------------------------|----------|
| Attivi industria | 300 |
| Attivi servizi | 350 |
| Attivi scuola superiore | 400 |

| Categoria | Indice di emissione [n° spost/(pax·h)] |
|-------------------------|--|
| Attivi industria | 1 |
| Attivi servizi | 1.1 |
| Attivi scuola superiore | 0.9 |

Il calcolo può essere arrestato quando $\frac{V^{n+1} - V^n}{V^n} \leq 0.1$

16) Un'azienda gestisce un servizio di trasporto pubblico stradale tra due località A e B distanti 2 km.

Nel periodo di riferimento T di 1 ora, la domanda tra le due località, bi-direzionale e simmetrica ($D_{BA} = D_{AB}$), è supposta elastica ed è data dalla funzione:

$$\begin{aligned} D_{AB} &= a \cdot q && \text{per } q < 20 \\ D_{AB} &= 2000 && \text{per } q \geq 20 \end{aligned}$$

dove:

$$D_{AB} = [\text{pax}/T]$$

$$a = 100 [\text{pax}/\text{n}^\circ\text{passaggi}]$$

$$q = \text{frequenza del servizio} [\text{n}^\circ\text{passaggi}/T]$$

Le caratteristiche del sistema di offerta sono:

numero di veicoli

$$m =$$

velocità massima

$$V_{max} =$$

[km/h]

accelerazione massima

$$a_{max} = 1.2$$

[m/s²]

jerking

$$J = 1$$

[m/s³]

fermate:

- solo per carico e scarico utenza
- $t_s =$ tempo di sosta = 30 sec.

Si calcoli la capacità del veicolo necessaria per soddisfare la domanda.

Posto che i costi aziendali variano linearmente con la domanda servita secondo la legge:

$$C = k \cdot q \quad [£]$$

dove:

$k =$ cost.

$q =$ frequenza del servizio

supponendo di poter far variare a piacimento il numero e le prestazioni dei veicoli, e che gli utenti paghino una tariffa P costante, si ricavi la frequenza del servizio per cui è massimo il ricavo netto dell'azienda.

17) Un'azienda gestisce un servizio di trasporto aereo tra due località distanti 500 km.

La domanda bi-direzionale e simmetrica tra le due località nel periodo di riferimento T di 2 ore è data dalla funzione:

$$V = k \cdot \left(\frac{P}{\alpha} \right)^{-0.5}$$

dove:

P = prezzo del biglietto 300000 £/viaggio

α = 30000 £/viaggio

k = pax/T

Aereo di tipo 1

Velocità, $V = 500$ km/h

Costi di esercizio:

Costi fissi = $C_0 = n \cdot A_0$

dove:

n = numero di aerei

A_0 = quota di ammortamento nel periodo T del veicolo 50 milioni di £

$Q = 200$ posti

Costi variabili

$C_v = 30000$ £/km

Aereo di tipo 2

Velocità, $V = 500$ km/h

Costi di esercizio:

Costi fissi = $C_0 = n \cdot A_0$

$A_0 = 70$ milioni di £

$Q = 300$ posti

Costi variabili

$C_v = 35000$ £/km

- 1) Calcolare il ricavo e l'utile netto del gestore
- 2) Aumentando il costo del biglietto il ricavo del gestore:
 - a) aumenta
 - b) diminuisce
- 3) Se la domanda si raddoppia ($k^* = 2 \cdot k$) al gestore conviene:
 - 1) aumentare il numero di aerei di tipo 1 fino a soddisfare il nuovo valore domanda
 - 2) utilizzare aerei di tipo 2

18) Si vuole conoscere il grado di riempimento medio dei veicoli di una flotta di autobus a servizio fra due località A e B distanti 10 km. Sono noti la frequenza del servizio pari a 8 corse/h e le caratteristiche dimensionali dei veicoli:

lunghezza = 10 m

larghezza = 2 m

affollamento = 3 pax/mq.

La domanda da servire risulta elastica rispetto al tempo di attesa e alla tariffa ed è data dall'espressione:

$$V = \frac{V_0}{1 + e^{0.25 \cdot (-22 + 1.08 \cdot t_a + 0.006 \cdot P)}} \quad [\text{pax/h}]$$

$V_0 = \text{volume iniziale} = 450 \quad [\text{pax/h}]$
 $t_a = \text{tempo di attesa medio} \quad [\text{min}]$
 $P = \text{tariffa} = 1500 \quad [\text{£/viaggio}].$

19) Si calcoli il VAN del progetto aziendale relativo al servizio di autobus di cui all'esercizio precedente.

A tal fine si tenga conto che:

- la domanda si prevede costante per i 10 anni di durata utile del progetto
- i costi d'investimento sono concentrati all'anno 0, e i ricavi ed i costi di esercizio annuali sono costanti nel periodo di 10 anni, per cui l'espressione del VAN si riduce a:

$$VAN = -C_{tot} + (R - C_a) \cdot \left[\frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \right]$$

dove:

C_{tot} = Costi totali d'investimento = costi di acquisizione del parco veicolare strettamente necessario all'effettuazione del servizio, per il cui calcolo è assegnato il tempo di giro degli autobus, pari a t_g , ed il costo di acquisizione del singolo veicolo pari a 200 Milioni di Lire.

R = Ricavi annuali

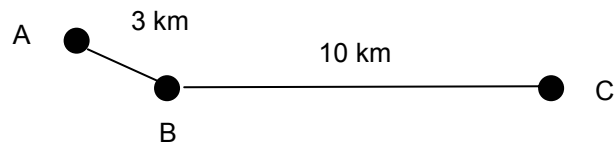
C_a = Costi di esercizio annuali per il cui calcolo si consideri un funzionamento di 3000 ore/anno ed un costo di 300 £/km

N = durata del progetto = 10 anni

r = tasso di attualizzazione = 0.06

20) Progettazione di un sistema di trasporti collettivo per il collegamento di due rioni urbani con il Centro Direzionale della città.

La struttura spaziale del sistema è schematizzata in figura:



La domanda di trasporto da servire è relativa al periodo 7-9 del mattino; in questa fascia oraria l'utenza chiede di spostarsi dai due rioni residenziali A e B verso il Centro Direzionale della città C.

S'intende progettare un'unica linea in sede riservata con percorso A-B-C-B-A.

$$d_{AB} = 3 \text{ km} \quad d_{BC} = 10 \text{ km}$$

Modello di domanda

La domanda di spostamenti è supposta elastica, e una sua stima è fornita dalle seguenti espressioni:

$$V_{AC} = \frac{V_{AC}^0}{1 + e^{\alpha \cdot Z_{AC}}}$$

$$V_{AB} = 0$$

$$V_{BC} = \frac{V_{BC}^0}{1 + e^{\alpha \cdot Z_{BC}}}$$

Dove:

V_{AC}^0 e V_{BC}^0 sono i valori della domanda ricavati dal modello di emissione

$$\alpha = 0.25$$

$$Z_{AC} = Z_{BC} = Z = -22 + 1.08 \cdot t_a + 0.006 \cdot C$$

$$t_a = \text{tempo di attesa} = \frac{60}{2 \cdot q} \quad [\text{min}]$$

q = frequenza del servizio = [corse/h]

C = tariffa di esercizio = [£/viaggio]

Nelle tabelle seguenti, in particolare, è riportato il numero di attivi, per categoria d'utenza interessata dallo spostamento, e per origine, con i relativi indici di emissione (numero di spostamenti per individuo nel periodo di riferimento):

| Categoria | A | B |
|-------------------------|----------|----------|
| Attivi industria | 300 | 350 |
| Attivi servizi | 350 | 500 |
| Attivi scuola superiore | 400 | 300 |

| Categoria | Indice di emissione [n° spost/(pax·2h)] |
|-------------------------|---|
| Attivi industria | 1 |
| Attivi servizi | 1.1 |
| Attivi scuola superiore | 0.9 |

Modello di offerta

Infrastruttura

Tipologia: in sede riservata

Velocità max ammissibile: 100km/h

Fermate:

- solo per carico e scarico utenza
- t_s = tempo di sosta = 30 sec.
- È consentita la sosta di un solo veicolo per volta

La frequenza del servizio q è fissata in via preliminare ed è pari a corse/h.

La tariffa di esercizio C è costante e pari a £/viaggio

Veicolo

Tipologia: stradale

| | | | |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| Peso | $p = 2$ | [ton/m] | |
| Capacità | $W = 8$ | [pax/m] | |
| Accelerazione massima | $a_{max} = 1.2$ | [m/s ²] | |
| Jerking | $J = 1$ | [m/s ³] | |
| Resistenze [km/h] | $R = 30P + 0.0144V^2$ | [kg] | con P [ton] e V |
| Potenza | N | [kW] | |

Costi

| | | |
|--------------------------------|--|--------------------------------|
| Costo fisso del veicolo | $C_a = 100 \cdot (10 \cdot P + 0.3 \cdot N)$ | [£/2h] |
| Costo di esercizio del veicolo | $C_e = 10 \cdot N$ | [£/km] |
| Costo del personale a bordo | $C_p = 50,000$ | [£/(h di esercizio · persona)] |
| Numero personale a bordo | 1 (autista) | |

QUESITI:

Ricavare:

- 1) Il volume totale dell'utenza per la frequenza e la tariffa fissate
- 2) La produttività p di un veicolo
- 3) Il numero di veicoli necessari per garantire la frequenza di esercizio fissata
- 4) Il numero di passeggeri per veicolo per soddisfare la domanda
- 5) La lunghezza L del veicolo [m]
- 6) Il peso P del veicolo [ton]
- 7) La potenza N del veicolo [kW] (trascurare il peso dei passeggeri)

Per la potenza si assuma il valore che consente al veicolo la velocità massima ammessa dalla sede moltiplicato per $3/2$.

- 8) I km di esercizio percorsi dalla flotta di veicoli
- 9) Il ricavo netto di esercizio relativamente al periodo di analisi come differenza tra ricavi di esercizio e costi di gestione.

21) Quattro località, A, B, C, D, sono collegate dalla rete di fig. 1 costituita dai rami 1, 2, 3, 4.

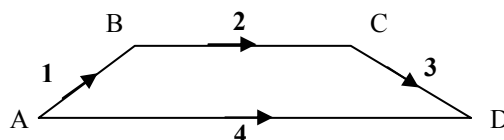


fig. 1

Si impone che per ogni ramo il rapporto $q/Q < 0,5$, e che quindi si possa assumere la funzione di costo del ramo costante.

Le caratteristiche dei rami sono:

| | | RAMI | | | |
|--------------------|---------------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| L (lunghezza) | Km | 10 | 10 | 10 | 50 |
| p (pendenza media) | $i \cdot 100$ | 10 | 2 | 2 | 0 |
| l (larghezza) | m. | 6 | 10 | 10 | 10 |
| Capacità /ml | Veic/ora | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Capacità | Veic/ora | 1800 | 3000 | 3000 | 3000 |

Tutti i rami della rete sono orientati e percorribili nel senso indicato in figura 1.

Sulla strada circolano tutti veicoli dello stesso tipo con le seguenti caratteristiche:

| | | |
|-------------------------|-------|----------------|
| Rrot. | 60 | kg/ton |
| P (peso totale) | 26 | ton |
| S (superficie maestra) | 7 | m ² |
| K (coeff. Aerodinamico) | 0,002 | |
| N= (potenza alle ruote) | 450 | Cv |

1. Calcolare i costi generalizzati di ramo e di percorso con i seguenti valori:

| | | |
|--|------|---------|
| Costo economico di esercizio (escluso carburante) | 0,12 | €/Km |
| Costo economico del carburante | 0,4 | €/litro |
| Valore monetario del tempo | 0,19 | €/min. |

Il consumo specifico di carburante si calcoli con la relazione:

$$\text{cons (litri/ Km)} = ((V_0 - V^*)^2 / A + B) \cdot (1 + C \cdot p) / 100$$

con :

V_0 = massima velocità consentita per il veicolo in esame su ciascun ramo

| | |
|----|------|
| | MP |
| V* | 60 |
| A | 57 |
| B | 20 |
| C | 0,58 |

Il tempo di percorrenza di ogni ramo si calcoli assumendo che ciascun ramo sia percorso alla velocità V_0 .

2. Calcolare le portate sui rami sapendo che il sistema è caricato da una domanda di trasporto espressa dalla seguente funzione :

$$V_{ij} = V_{o,ij} \cdot \exp(-a \cdot C_{ij})$$

Con

C_{ij} = costo generalizzato di percorso (nel caso in cui per la stessa linea di desiderio esistano più percorsi si assuma C_{ij} pari alla media dei costi dei percorsi alternativi);

$$a = 0,02$$

I valori di $V_{o,ij}$ sono:

| | |
|-----|------------------------|
| O/D | $V_o(\text{veic/ora})$ |
| AB | 300 |
| AC | 300 |
| AD | 2000 |
| BC | 300 |
| BD | 300 |

Si assuma che la domanda di cui sopra sia costante per 1200/ore nell'anno e che nelle restanti ore sia nulla.

(*) per le linee di domanda che ammettono più di un percorso, calcolare le aliquote su ciascun percorso con il modello Logit, in funzione della differenza dei costi generalizzati, con parametro $\lambda = -0,1$.

$$P(W=1) = 1 / (1 + \exp(\lambda \cdot (C(2) - C(1))))$$

$$P(W=2) = 1 - P(W=1)$$

3. Calcolare il VAN di un progetto consistente nel modificare le caratteristiche del ramo 1 come nella tabella che segue:

| | | Ramo |
|--------------------|----------|------|
| | | 1 |
| L (lunghezza) | Km | 5 |
| p (pendenza media) | i*100 | 0 |
| l (larghezza) | m. | ? |
| Capacità /ml | Veic/ora | 300 |
| Capacità | Veic/ora | ? |

Il costo economico di investimento è pari a : 1.000 K€/m/Km

Al fine di rispondere al quesito si proceda nei seguenti calcoli:

- ✓ Calcolare il costo generalizzato del ramo 1, i costi di percorso ed i flussi di arco sulla rete modificata dal progetto
- ✓ Calcolare la larghezza del ramo 1 in modo che sia soddisfatta la condizione $q/Q < 0,5$
- ✓ Calcolare il costo di investimento
- ✓ Calcolare i benefici diretti del progetto
- ✓ Calcolare il traffico generato ed il beneficio indiretto: si assuma che il beneficio corrispondente al traffico generato sia pari al costo di trasporto sopportato dal traffico generato

Si consideri inoltre che:

- ✓ I costi ed i benefici sono espressi in termini economici
- ✓ L'investimento si realizza in un anno
- ✓ La vita utile del progetto N , è di 15 anni, a partire dalla realizzazione dello stesso
- ✓ I benefici sono costanti per tutta la vita del progetto
- ✓ I costi di esercizio sono da considerare nulli .
- ✓ Il tasso di rendimento è pari al 5%
- ✓ Per il calcolo del VAN si assuma la relazione :

$$VAN = -C_{INV} + B \cdot \left[\frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \right]$$

22) Valutazione finanziaria di un investimento infrastrutturale.

La zona residenziale A è collegata al centro direzionale della città B da una strada di capacità assegnata. Si vuole dimensionare un collegamento ferroviario parallelo a quello stradale e valutarne la convenienza del gestore mediante un'analisi finanziaria.

Offerta di trasporto

Situazione attuale

Strada:

L = Lunghezza A-B = 5 [km]
CAP = 1800 [veic/h]
 v_0 = velocità a flusso libero = 25 [m/s]

Prestazioni in congestione:

Tempo di percorrenza: $t = t_0 \cdot [1 + \beta \cdot (f/CAP)]$

Dove:

t_0 = tempo di percorrenza a flusso nullo = L / v_0 [s]

$\beta = 3$

f = flusso di veicoli nell'ora [veic/h]

Veicolo: autovettura

W1 = tasso medio di occupazione: 1.5 [pax/veic]

Situazione di progetto

Le caratteristiche prestazionali della strada rimangono invariate.

Ferrovia:

Sede con due binari

L = Lunghezza A-B = 5 [km]

Vcom = velocità commerciale = 30 [km/h]

Esercizio:

n = frequenza = 6 [giri/h]

P = tariffa = 00 [£/pax]

Veicolo:

La = larghezza veicoli = 2.2 [m]

W2 = tasso medio di occupazione dei veicoli = 2 [pax/m²]

Costi:

Costo di acquisizione del veicolo ferroviario = $5 \cdot 10^7$ [£/ml]

Costi dell'infrastruttura = $2.5 \cdot 10^9$ [£/km]

Costi di manutenzione = $5 \cdot 10^7$ [£/(km·anno)]

Modello di domanda

La domanda di trasporto fra le due località A e B è supposta elastica. In particolare si è ipotizzato che sia elastica solo rispetto al tempo di percorrenza mentre la si considera rigida rispetto alla tariffa. Una sua stima è data dalla seguente espressione:

$$V = \frac{V_0}{1 + e^{-3.4053+0.005 \cdot t}}$$

dove:

$$V_0 = 000 \quad [\text{pax/h}]$$

$$t = \text{tempo di percorrenza della distanza A-B [s]}$$

Quesiti:

Calcolare:

Il VAN del progetto tenendo conto che:

- la vita utile dell'opera N è fissata in 10 anni
- la domanda si mantiene costante nei 10 anni
- le ore di esercizio in un anno sono 3000
- il tasso di attualizzazione $r = 0.06$
- i costi di manutenzione dell'infrastruttura stradale sono uguali nella situazione di progetto e di non progetto
- i costi d'investimento sono concentrati all'anno 0, e i ricavi e i costi annuali di manutenzione sono costanti nell'arco dei 10 anni, per cui l'espressione del VAN si riduce a:

$$VAN = -C_{tot} + (R - C_a) \cdot \left[\frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \right]$$

dove:

C_{tot} = Costi totali d'investimento

R = Ricavi annuali

C_a = Costi di manutenzione annuali

Si fa presente che per ottenere i ricavi annuali occorre calcolare:

- Il volume orario della domanda di trasporto nella situazione di progetto
- La ripartizione di equilibrio di tale volume tra la strada e la ferrovia: si suppone che valga il II principio di Wardrop e che la ferrovia non risenta degli effetti della congestione (il tempo di percorrenza non è funzione del flusso che la impegna [vedi $V_{com} = \text{cost.}$])

Per i costi d'investimento occorre invece dimensionare il sistema ferroviario.

23) Valutazione finanziaria della concessione a terzi di una strada



I due centri A e B sono collegati mediante due strade: una di tipo II CNR ed una di tipo IV CNR. Gli elevati costi di manutenzione della strada di tipo II e la sottoutilizzazione dell'altra hanno indotto l'ente proprietario delle strade a valutare l'opportunità di istituire la riscossione di un pedaggio sulla strada di tipo II. La mancanza di fondi per la realizzazione delle opere di adeguamento infrastrutturale (barriere a pedaggio in A e in B) suggerisce di fornire la strada in concessione ai privati (project financing): questi, a fronte della concessione della strada e quindi della possibilità di riscuotere un pedaggio, si accollano i costi di costruzione degli svincoli e gli oneri di manutenzione della strada. Occorre valutare la convenienza finanziaria per un privato dell'operazione.

Si calcolino a tal fine il VAN e l'SRI del progetto tenendo conto che:

- c) la durata della concessione è fissata in 10 anni
- d) il tasso di attualizzazione è $r = 0.06$
- e) la domanda si prevede costante per i 10 anni della concessione
- f) i costi d'investimento sono concentrati all'anno 0, e i ricavi ed i costi di manutenzione annuali sono costanti nei 10 anni, per cui l'espressione del VAN si riduce a:

$$VAN = -C_{tot} + (R - C_a) \cdot \left[\frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \right]$$

dove:

C_{tot} = Costi totali d'investimento = 4 miliardi di £

R = Ricavi annuali

C_a = Costi di manutenzione annuali = 100 milioni di £/km

Modello di domanda

La domanda totale è costante nei 10 anni.

Il traffico giornaliero medio complessivo sulle 2 strade è TGM=10000 veicoli per senso di marcia.

Per il calcolo della ripartizione sulle 2 strade si utilizzi un logit binomiale in cui l'utilità delle alternative è pari a:

$$U = -0.108 \cdot t_p - 0.0006 \cdot P$$

dove t_p è il tempo di percorrenza della tratta [min] e P il pedaggio [£].

Modello di offerta

Strada di tipo II:

Velocità commerciale = 110 km/h

Lunghezza = 35 km

Strada di tipo IV:

Velocità commerciale = 80 km/h

Lunghezza = 47.67 km

Pedaggio = 2000 £

Si calcoli inoltre il valore del pedaggio che comporta una ripartizione dei traffici uguale sulle 2 strade.

24) Valutazione economica di un investimento infrastrutturale mediante Analisi Benefici-Costi

Si vuole valutare la convenienza economica di un intervento infrastrutturale di adeguamento della sede stradale di un tronco lungo 10 km. L'intervento consiste nel trasformare una strada a carreggiata unica (sensi di marcia indivisi) con una corsia per senso di marcia, in una strada a doppia carreggiata con due corsie per senso di marcia. La convenienza economica dell'intervento va valutata mediante un'analisi benefici costi, calcolando il VAN del progetto. L'analisi andrà effettuata su di un arco temporale pari alla vita utile dell'opera, stimata in 20 anni.

I costi vanno calcolati come differenza tra i costi prodotti dalla realizzazione del progetto e quelli che si avrebbero in sua assenza.

In particolare i costi sono: costi di manutenzione e gestione, costi d'investimento.

I costi di manutenzione e gestione sono supposti uguali per la situazione di progetto e di non progetto e pertanto si annullano.

I costi d'investimento sono nulli nella situazione di non-progetto mentre sono pari a 3 Miliardi di lire/km per la situazione di progetto; questi vanno concentrati tutti all'anno zero.

I benefici invece sono costituiti dall'eventuale risparmio di tempo e di carburante.

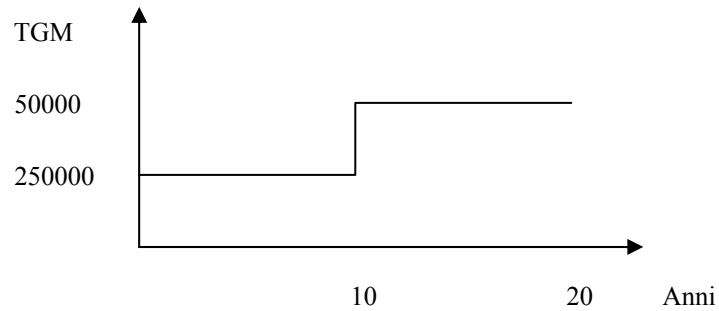
Si suppone che la domanda sia rigida rispetto all'offerta (non è funzione delle prestazioni del sistema di trasporto) e che sia soggetta ad un trend di crescita secondo quanto riportato nel modello dei traffici. Questo comporta che i benefici risultano costanti negli anni in cui è costante la domanda, vale a dire nei primi dieci anni e nei successivi dieci.

In queste ipotesi l'espressione del VAN si riduce a:

$$VAN = -C_{tot} + (R - C_a) \cdot \left[\frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \right]$$

Modello dei traffici

Il trend della domanda è riportato in figura:



Dove:

TGM = traffico giornaliero medio

VHP = volume dell'ora di punta

VHM = volume dell'ora di morbida

Modello di offerta

Strada ad una carreggiata:

CAP = 2400 veic/h

V_{MAX} = 90 km/h

V_{CR} = 45 km/h

Strada a doppia carreggiata:

CAP = 7200 veic/h

V_{MAX} = 120 km/h

V_{CR} = 60 km/h

Prestazioni:

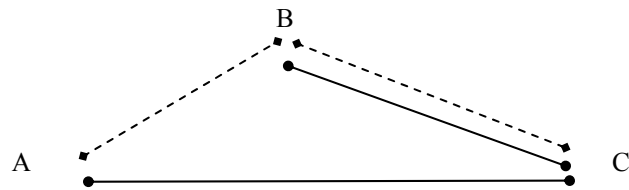
I tempi di percorrenza del tratto vanno calcolati mediante una curva BPR con coefficienti $\delta = 1$ e $\gamma = 1$

I consumi di carburante vanno calcolati con la seguente formula:

Calcolare:

- I tempi di percorrenza del tronco stradale nelle due alternative
- I consumi nelle due alternative
- Il VAN del progetto

25) Nell'ora di punta del mattino la domanda di spostamenti dalle due località A e B verso la località C è, rispettivamente, di 400 e 650 unità.



Si vuole scegliere, fra le due alternative progettuali di seguito riportate, la più conveniente per la collettività, vale a dire l'alternativa che minimizza il costo generalizzato del trasporto percepito dall'utenza del sistema. In particolare, si consideri il costo generalizzato medio del singolo utente, pari alla somma del costo del tempo (tempo di attesa e tempo a bordo del veicolo) e della tariffa del biglietto. Per il calcolo del tempo di attesa medio si consideri una distribuzione degli arrivi alla fermata di tipo uniforme; inoltre come valore monetario del tempo si assumano 8 €/h.

Alternativa 1

La prima alternativa progettuale prevede due collegamenti diretti, uno fra A e C ed un altro fra B e C (vedi archi con tratto pieno in figura).

Il collegamento fra le località A e C, distanti 10 km, è realizzato con un servizio ad anello esercito con 2 veicoli e progettato con le seguenti caratteristiche di esercizio:

$$V_{\max} = 50 \text{ km/h}$$

$$a_{\max} = 1.2 \text{ m/s}^2$$

$$J = 1.0 \text{ m/s}^3$$

$$T_{\text{sosta}} = 90 \text{ s}$$

$$P_{\text{tariffa}} = 1 \text{ €}$$

Il collegamento fra le località B e C, distanti 4 km, è invece esercito da 2 veicoli ed ha le seguenti caratteristiche:

$$V_{\max} = 60 \text{ km/h}$$

$$a_{\max} = 1.2 \text{ m/s}^2$$

$$J = 1.0 \text{ m/s}^3$$

$$T_{\text{sosta}} = 40 \text{ s}$$

$$P_{\text{tariffa}} = 1 \text{ €}$$

Alternativa 2

La seconda alternativa prevede invece un collegamento fra le località A e B ed uno fra le località B e C (vedi archi tratteggiati in figura). In tal modo, gli utenti che devono spostarsi da A a C dovranno cambiare veicolo in B.

Il collegamento fra le località A e B, distanti 2.5 km, è realizzato con un servizio ad anello esercito con 3 veicoli e progettato con le seguenti caratteristiche di esercizio:

$$V_{\max} = 50 \text{ km/h}$$

$$a_{\max} = 1.2 \text{ m/s}^2$$

$$J = 1.0 \text{ m/s}^3$$

$$T_{\text{sosta}} = 50 \text{ s}$$

$$P_{\text{tariffa}} = 0.75 \text{ €}$$

Il collegamento fra le località B e C, distanti 4 km, è invece esercito da 2 veicoli ed ha le seguenti caratteristiche:

$$V_{\max} = 60 \text{ km/h}$$

$$a_{\max} = 1.2 \text{ m/s}^2$$

$$J = 1.0 \text{ m/s}^3$$

$$T_{\text{sosta}} = 40 \text{ s}$$

$$P_{\text{tariffa}} = 0.75 \text{ €}$$

Si tenga presente che gli utenti del servizio che usufruiscono di entrambi i collegamenti (quelli che si spostano da A a C) pagano il biglietto una sola volta (biglietto a validità oraria).

Si individui l'alternativa progettuale che minimizza i costi per la collettività e si calcolino le capacità dei veicoli per i quattro collegamenti considerati.

26) Si vuole realizzare un collegamento ferroviario fra due località A e B distanti 10 km. Occorre valutare qual è l'alternativa progettuale più conveniente fra le due prospettate di seguito.

Per il calcolo del VAN delle due alternative si utilizzi la formula:

$$VAN = -C_{tot} + (R - C_a) \cdot \left[\frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \right]$$

dove:

C_{tot} = Costi totali d'investimento

R = Ricavi annuali

C_a = Costi di manutenzione annuali

$r = 0.06$

N = vita utile dell'opera = 20 anni

Per il calcolo dei costi e ricavi annuali si considerino 2500 ore di esercizio l'anno.

La domanda iniziale di spostamenti fra A e B (V_{AB}^0), bi-direzionale e simmetrica, è costante durante la vita utile dell'opera. La domanda totale è supposta elastica ed è data dalla funzione:

$$V_{AB} = \frac{V_{AB}^0}{1 + e^{\alpha \cdot Z_{AB}}}$$

dove:

$$V_{AB}^0 = \quad \text{pax/h}$$

$$\alpha = 0.25$$

$$Z_{AB} = -22 + 1.08 \cdot t_{AB} + 0.006 \cdot P$$

t_{AB} = tempo di percorrenza del tratto AB [minuti]

P = tariffa di esercizio

I alternativa:

$$v_{\max} = \text{velocità max} = \quad \text{km/h}$$

$$a = 1.2 \text{ m/s}^2$$

$$j = 1.0 \text{ m/s}^3$$

L = lunghezza convoglio = 150 m

W = occupazione = 3 pax/ml

C_{veic} = costo del veicolo = $2 \cdot 10^8$ £/ml

C_{inf} = costi dell'infrastruttura = $3 \cdot 10^9$ £/km

C_{man} = costi di manutenzione annuale = 10^8 £/km

P = tariffa di esercizio = 1000 [£/(pax·corsa)]

II alternativa:

$$v_{\max} = \text{velocità max} = \quad \text{km/h}$$

$$a = 1.5 \text{ m/s}^2$$

$$j = 1.0 \text{ m/s}^3$$

L = lunghezza convoglio = 150 m

W = occupazione = 3 pax/ml

C_{veic} = costo del veicolo = $3 \cdot 10^8$ £/ml

C_{inf} = costi dell'infrastruttura = $4 \cdot 10^9$ £/km

C_{man} = costi di manutenzione annuale = $2 \cdot 10^8$ £/km

P = tariffa di esercizio = 1500 [£/(pax·corsa)]