



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 2027A -

ANNO: 2016

A P P U N T I

STUDENTE: Ferrero Roberta

MATERIA: Infrastrutture varie (esercitazioni) - Prof. Bassani -
Riviera

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.**

Raccolta delle esercitazioni di Infrastrutture Viarie



Roberta Ferrero, s187005

Politecnico di Torino

a.a. 2014-2015

ESERCITAZIONE 1 - SQUADRE RIUNITE - 12 marzo 2015

La capacità C in ambito ferroviario e aeroportuale

Esercizio 1 – Ferrovie

Di una nuova linea ferroviaria sono forniti i dati tecnici del convoglio passeggeri tipo:

- locomotore elettrico veloce: $m = 89.000 \text{ kg}_m$, $W = 6.600 \text{ kW}$, $L = 18 \text{ m}$;
- n. 12 vagoni a pieno carico: $m_{vuoto} = 36.000 \text{ kg}_m$, capacità 100 persone (considerare 80 kg per persona), 2 carrelli, $L = 25 \text{ m}$.

Siano inoltre noti:

- tempo di percezione e reazione t_R pari a 2 s;
- decelerazione a di 1 m/s^2 ;
- fattore di sicurezza k pari a 2;
- tre sezioni di blocco ($j=3$).

Determinare la capacità massima e la velocità ideale della linea.

Svolgimento

Per quantificare l'offerta di mobilità di un insieme di infrastrutture presenti in un'area si ricorre alla **capacità C**, intesa come il massimo numero di spostamenti eseguibili nell'unità di tempo:

$$C = \frac{1}{t_{min}} (conv/h) = \frac{3600}{t_{min}} (conv/h)$$

con t_{min} detto *tempo minimo*.

Nel caso delle ferrovie questo tempo è associato al *distanziamento spaziale minimo* necessario tra due convogli successivi e si valuta osservando l'organizzazione della linea stessa. Ogni tratta è divisa in un numero j di sezioni di blocco di lunghezza s_0 , non inferiore allo spazio di arresto del convoglio più veloce. Ognuna di queste scansioni è preceduta da un semaforo, che preavverte il macchinista attraverso la seguente successione di colori: *verde* (via libera o avviso di via libera), *giallo* (avviso di via impedita) e *rosso* (via impedita).

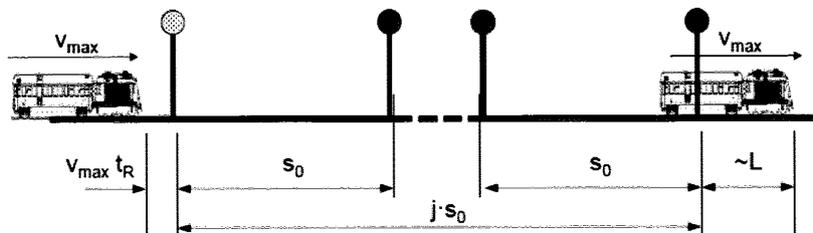


Figura 1

Esercizio 2 – Ferrovie

Valutare la capacità della linea precedente supponendo una velocità dei convogli pari a $V = 180$ km/h, sia in assenza che in presenza di stazione sulla linea.

In quest'ultimo caso si consideri un tempo di sosta pari a $t_s = 3'$, un margine operativo di $t_{MO} = 1'$ ed un'accelerazione del convoglio pari a $a_{cc} = 0,5$ m/s².

Svolgimento

Per calcolare la capacità, qualora la velocità sia nota ($v = 180$ km/h = 50 m/s), si ricorre alla seguente equazione:

$$C = \frac{3600}{t_{min}} (vec/h) = \frac{3600}{\frac{L}{v_{max}} + \frac{j * k * v_{max}}{2a} + t_R} (vec/h)$$

La distinzione della linea con stazione e senza stazione influisce sul calcolo della capacità in termini di tempi minimi.

Partendo dal caso di tratta **con assenza di stazione in linea**, la capacità si calcolerà come:

$$\begin{aligned} C &= \frac{3600}{t_{min}} \left(\frac{conv}{h} \right) = \frac{3600}{\frac{L}{v_{max}} + \frac{j * k * v_{max}}{2a} + t_R} \left(\frac{conv}{h} \right) = \\ &= \frac{3600 \text{ s/h}}{\frac{318 \text{ m}}{50 \text{ m/s}^2} + \frac{3 * 2 * 50 \text{ m/s}}{2 * 1 \text{ m/s}^2} + 2 \text{ s}} = 22.7 \text{ conv/h} \cong \mathbf{22 \text{ conv/h}} \end{aligned}$$

Mentre nel caso di **presenza di stazioni in linea** è necessario un maggiore distanziamento temporale, dato dal *margine operativo* t_{MO} (tempo minimo necessario tra due convogli fermi nella stazione) e dal *tempo per la decelerazione, sosta e accelerazione* t_{DSA} :

$$t_{DSA} = t_D + t_s + t_A = \frac{v_{max}}{a} + t_s + \frac{v_{max}}{a_{cc}} = \frac{50 \text{ m/s}}{1 \text{ m/s}^2} + 3 \text{ min} * 60 \text{ s/min} + \frac{50 \text{ m/s}}{0.5 \text{ m/s}^2} = 330 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{3600}{t_{min}} \left(\frac{vec}{h} \right) = \frac{3600}{\frac{L}{v_{max}} + \frac{j * k * v_{max}}{2a} + t_R + t_{MO} + t_{DSA}} \left(\frac{vec}{h} \right) = \\ &= \frac{3600 \text{ s/h}}{\frac{318 \text{ m}}{50 \text{ m/s}^2} + \frac{3 * 2 * 50 \text{ m/s}}{2 * 1 \text{ m/s}^2} + 2 \text{ s} + 1 \text{ min} * 60 \text{ s/min} + 330 \text{ s}} = 6.56 \text{ conv/h} \cong \mathbf{6 \text{ conv/h}} \end{aligned}$$

L'immediata conseguenza legata alla presenza di una stazione sulla linea è una netta diminuzione della capacità, in termini di numero di convogli che transitano lungo la stessa in un'ora.

Matrice degli intervalli minimi t_{ij} :

$$t_{ij} = \begin{vmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{vmatrix}$$

$$t_{11} = \frac{\delta}{v_1} = \frac{5(km)}{180 \left(\frac{km}{h}\right)} \cdot 3600 = 100 \text{ s}$$

$$t_{22} = t_{12} = \frac{\delta}{v_2} = \frac{5(km)}{240 \left(\frac{km}{h}\right)} \cdot 3600 = 75 \text{ s}$$

$$t_{21} = \frac{\delta + \gamma}{v_1} - \frac{\gamma}{v_2} = \left(\frac{5(km) + 10(km)}{180 \left(\frac{km}{h}\right)} - \frac{10(km)}{240 \left(\frac{km}{h}\right)} \right) \cdot 3600 = 150 \text{ s}$$

$$t_{ij} = \begin{vmatrix} 100 & 75 \\ 150 & 75 \end{vmatrix}$$

$$P_{ij} = \begin{vmatrix} p_1^2 & p_1 \cdot p_2 \\ p_2 \cdot p_1 & p_2^2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.6 \cdot 0.6 & 0.6 \cdot 0.4 \\ 0.4 \cdot 0.6 & 0.4 \cdot 0.4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.36 & 0.24 \\ 0.24 & 0.16 \end{vmatrix}$$

$$t_{medio} = \sum_{i,j} P_{ij} \cdot t_{ij} = p_1^2 \cdot t_{11} + p_1 \cdot p_2 \cdot t_{12} + p_2 \cdot p_1 \cdot t_{21} + p_2^2 \cdot t_{22}$$

$$= 0.36 \cdot 100 \text{ s} + 0.24 \cdot 75 \text{ s} + 0.24 \cdot 150 \text{ s} + 0.16 \cdot 75 \text{ s} = 102 \text{ s}$$

$$C = \frac{3600}{t_{medio}} = \frac{3600}{102 \text{ s}} = 35.3 \cong 35 \frac{vel}{h}$$

Trascorsa la prima ora, la pista inizialmente vuota e con 30 posti liberi (capacità C del piazzale) si satura per il 60% della sua capacità,

$$n_{velivoli_1ora} = 1(h) \cdot 0.6 \cdot C \left(\frac{vel}{h}\right) = 1(h) \cdot 0.6 \cdot 35 \left(\frac{vel}{h}\right) = 21 \text{ velivoli}$$

cioè sono già presenti 21 automobili atterrati, mentre nessuno sarà ancora partito, con $(30-21) = 9$ posti ancora vuoti.

Dopo la seconda ora il piazzale è interessato da un flusso pari al 40% della stessa capacità, pari a circa 14 velivoli che atterrano, mentre ancora nessuno decolla.

$$n_{velivoli_2ora} = 1(h) \cdot 0.4 \cdot C \left(\frac{vel}{h}\right) = 1(h) \cdot 0.4 \cdot 35 \left(\frac{vel}{h}\right) = 14 \text{ velivoli}$$

Essendo presenti solo più 9 posti liberi, ora vi sarebbero $(14 - 9) = 5$ velivoli in più, dunque, il piazzale si saturerà **dopo due ore**. Questa soprassaturazione viene perciò raggiunta in un tempo inferiore alle 2 ore, cioè:

$$n_{velivoli_max} = 30 \text{ velivoli} = n_{velivoli_1ora} + x(h) \cdot 0.4 \cdot C \left(\frac{vel}{h}\right)$$

$$x(h) = \frac{(n_{velivoli_max} - n_{velivoli_1ora})}{0.4 \cdot C \left(\frac{vel}{h}\right)} = \frac{30 - 21}{0.4 \cdot 35} = 0.64 \text{ h}$$

Il piazzale raggiunge la sua capacità massima dopo $(1 + 0.64) = 1.64$ ore.

ESERCITAZIONE 1 – SQUADRE SEPARATE - 17 marzo 2015

Esercizio 1 – FERROVIE

Calcolare la potenzialità e la velocità ideale dei convogli di una linea ferroviaria con sistema a blocco automatico nell'ipotesi di:

- linea con esercizio omotachico;
- convoglio tipo composto da 12 unità (11 vagoni, 1 locomotore);
- lunghezza di ogni singolo vagone 22 m, lunghezza del locomotore 10 m;
- tempo di percezione e reazione t_R pari a 3 s;
- decelerazione in caso di arresto pari a 1 m/s^2 ;
- fattore di sicurezza k pari a 2;
- due sezioni di blocco;
- assenza di stazioni in linea.

Valutare, inoltre, la capacità qualora la linea sia gestita con convogli aventi una velocità massima in esercizio pari a 120 e 200 km/h. Valutare, infine, la capacità della linea, nelle medesime condizioni sopraesposte, ipotizzando la presenza di stazioni in linea che richiedono un tempo di sosta pari a 120 secondi.

Svolgimento

$$C_{max} = \frac{3600}{\sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot j \cdot L}{a_{dec}} + t_R} \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 252 \text{ (m)}}{1 \text{ (m/s}^2)}} + 3 \text{ s}} = \frac{3600 \text{ (s/h)}}{\sqrt{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 252 \text{ (m)}} + 3 \text{ s}} \cong 75 \text{ conv/h}$$

$$L = L_{vag} \cdot n_{vag} + L_{loc} \cdot n_{loc} = 22 \text{ (m)} \cdot 11 + 10 \text{ (m)} \cdot 1 = 252 \text{ m}$$

$$v_{ideale} = \sqrt{\frac{2 \cdot a_{dec} \cdot L}{k \cdot j}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \text{ (m/s}^2) \cdot 252 \text{ (m)}}{2 \cdot 2}} = 11.22 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3.6 \frac{\text{km} \cdot \text{s}}{\text{m} \cdot \text{h}} \cong 46 \text{ km/h}$$

Qualora la linea sia gestita con convogli aventi una velocità massima in esercizio diversa da quella ideale, cioè pari a 120 e 200 km/h, la capacità si modifica come segue:

$$C_{120} = \frac{3600}{\frac{L}{v} + \frac{j \cdot k \cdot v}{2a} + t_R} = \frac{3600 \text{ (s/h)}}{\frac{252 \text{ (m)}}{120 \text{ (km/h)}/3.6} + \frac{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 120 \text{ (km/h)}/3.6}{2 \cdot 1 \text{ (m/s}^2)}} + 3 \text{ (s)}} \cong 46 \text{ conv/h}$$

$$C_{200} = \frac{3600}{\frac{L}{v} + \frac{j \cdot k \cdot v}{2a} + t_R} = \frac{3600 \text{ (s/h)}}{\frac{252 \text{ (m)}}{200 \text{ (km/h)}/3.6 \frac{\text{km} \cdot \text{s}}{\text{m} \cdot \text{h}}} + \frac{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 200 \text{ (km/h)}/3.6 \frac{\text{km} \cdot \text{s}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{2 \cdot 1 \text{ (m/s}^2)}} + 3 \text{ (s)}} \cong 21 \text{ conv/h}$$

Ipotizzando infine la presenza di stazioni in linea con un tempo di sosta pari a $t_s = 120 \text{ s}$:

$$C_{120} = \frac{3600}{\frac{L}{v} + \frac{j \cdot k \cdot v}{2a} + t_R + t_s} = \frac{3600 \text{ (s/h)}}{\frac{252 \text{ (m)}}{120 \text{ (km/h)}/3.6 \frac{\text{km} \cdot \text{s}}{\text{m} \cdot \text{h}}} + \frac{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 120 \text{ (km/h)}/3.6 \frac{\text{km} \cdot \text{s}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{2 \cdot 1 \text{ (m/s}^2)}} + 3 \text{ (s)} + 120 \text{ (s)}} \cong 18 \text{ c/h}$$

$$C_{200} = \frac{3600}{\frac{L}{v} + \frac{j \cdot k \cdot v}{2a} + t_R + t_s} = \frac{3600 \text{ (s/h)}}{\frac{252 \text{ (m)}}{200 \text{ (km/h)}/3.6 \frac{\text{km} \cdot \text{s}}{\text{m} \cdot \text{h}}} + \frac{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 200 \text{ (km/h)}/3.6 \frac{\text{km} \cdot \text{s}}{\text{m} \cdot \text{h}}}{2 \cdot 1 \text{ (m/s}^2)}} + 3 \text{ (s)} + 120 \text{ (s)}} \cong 15 \text{ c/h}$$

Esercizio 3 – AEROPORTI

Valutare la capacità di una pista aeroportuale con la seguente ripartizione dei velivoli in classi di velocità. Sono definiti la lunghezza del sentiero di avvicinamento (γ) pari a 8,5 km, e la distanza minima di separazione lungo il sentiero (δ) di 5,5 km.

Classe	Tipo	Velocità	Percentuale
1	Pesanti (H)	280 km/h	25%
2	Grandi (L)	245 km/h	35%
3	Piccoli 1 (S1)	190 km/h	20%
4	Piccoli 2 (S2)	140 km/h	20%

Svolgimento

Definita la capacità di una pista aeroportuale come $C = \frac{3600}{t_{medio}}$ (vel/h),
 si ricava innanzitutto il tempo medio $t_{medio} = \sum_{ij} P_{ij} \cdot t_{ij}$.

Con P_{ij} la probabilità di accadimento, dipendente dalla probabilità di ripartizione degli arrivi delle diverse classi di velocità (P_1, P_2, \dots, P_n), associata al relativo distanziamento temporale minimo t_{ij} . Quest'ultimo si determina per ciascuna combinazione tra due categorie di velocità i e j

$$t_{ij} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} & t_{44} \end{bmatrix}$$

Il tempo di arrivo per ogni combinazione possibile tra le diverse classi di velocità è valutato a seconda di quale sia il veicolo più veloce, tra quello che precede i e quello che segue j . Data questa considerazione e l'ordinamento decrescente delle classi di velocità fornito nella Tabella, è possibile ridurre i calcoli ai soli elementi sulla diagonale e sopra la diagonale:

$$t_{11} = \frac{\delta}{v_1} = \frac{5.5 \text{ km}}{280 \text{ (km/h)}} * 3600 \text{ (s/h)} = 70.7 \text{ s} = t_{21} = t_{31} = t_{41}$$

$$t_{22} = \frac{\delta}{v_2} = \frac{5.5 \text{ km}}{245 \text{ (km/h)}} * 3600 \text{ (s/h)} = 80.8 \text{ s} = t_{32} = t_{42}$$

$$t_{33} = \frac{\delta}{v_3} = \frac{5.5 \text{ km}}{190 \text{ (km/h)}} * 3600 \text{ (s/h)} = 104.2 \text{ s} = t_{43}$$

$$t_{44} = \frac{\delta}{v_4} = \frac{5.5 \text{ km}}{140 \text{ (km/h)}} * 3600 \text{ (s/h)} = 141.4 \text{ s}$$

$$t_{12} = \frac{\delta}{v_2} + \gamma \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right) = \left[\frac{5.5 \text{ km}}{245 \text{ km/h}} + (8.5 \text{ km}) \left(\frac{1}{245 \text{ km/h}} - \frac{1}{280 \text{ km/h}} \right) \right] * 3600 \text{ (s/h)} = 96.4 \text{ s}$$

$$t_{13} = \frac{\delta}{v_3} + \gamma \left(\frac{1}{v_3} - \frac{1}{v_1} \right) = \left[\frac{5.5 \text{ km}}{190 \text{ km/h}} + (8.5 \text{ km}) \left(\frac{1}{190 \text{ km/h}} - \frac{1}{280 \text{ km/h}} \right) \right] * 3600 \text{ (s/h)} = 156.0 \text{ s}$$

$$t_{14} = \frac{\delta}{v_4} + \gamma \left(\frac{1}{v_4} - \frac{1}{v_1} \right) = \left[\frac{5.5 \text{ km}}{140 \text{ km/h}} + (8.5 \text{ km}) \left(\frac{1}{140 \text{ km/h}} - \frac{1}{280 \text{ km/h}} \right) \right] * 3600 \text{ (s/h)} = 150.7 \text{ s}$$

$$t_{23} = \frac{\delta}{v_3} + \gamma \left(\frac{1}{v_3} - \frac{1}{v_2} \right) = \left[\frac{5.5 \text{ km}}{190 \text{ km/h}} + (8.5 \text{ km}) \left(\frac{1}{190 \text{ km/h}} - \frac{1}{245 \text{ km/h}} \right) \right] * 3600 \text{ (s/h)} = 140.4 \text{ s}$$

$$t_{24} = \frac{\delta}{v_4} + \gamma \left(\frac{1}{v_4} - \frac{1}{v_2} \right) = \left[\frac{5.5 \text{ km}}{140 \text{ km/h}} + (8.5 \text{ km}) \left(\frac{1}{140 \text{ km/h}} - \frac{1}{245 \text{ km/h}} \right) \right] * 3600 \text{ (s/h)} = 235.1 \text{ s}$$

$$t_{34} = \frac{\delta}{v_4} + \gamma \left(\frac{1}{v_4} - \frac{1}{v_3} \right) = \left[\frac{5.5 \text{ km}}{140 \text{ km/h}} + (8.5 \text{ km}) \left(\frac{1}{140 \text{ km/h}} - \frac{1}{190 \text{ km/h}} \right) \right] * 3600 \text{ (s/h)} = 198.9 \text{ s}$$

Riportato il complesso dei valori desunti nella relativa matrice dei tempi minimi

Esercizio 4 – AEROPORTI

Valutare la capacità di una pista aeroportuale con la seguente ripartizione dei velivoli in classi di velocità (Tabella 2) tenuto conto del tempo di occupazione dei veicoli in fase di atterraggio. Sono definiti la lunghezza del sentiero di avvicinamento (γ) pari a 11,5 km, e la distanza minima di separazione lungo il sentiero (δ) di 7,5 km.

Classe	Tipo	Velocità	Percentuale	Tempo di occupazione della pista
1	Pesanti (H)	300 km/h	15%	120 s
2	Grandi (L)	220 km/h	30%	95 s
3	Piccoli 1 (S1)	170 km/h	35%	85 s
4	Piccoli 2 (S2)	130 km/h	20%	65 s

Tabella 2: Ripartizione dei velivoli in classi di velocità

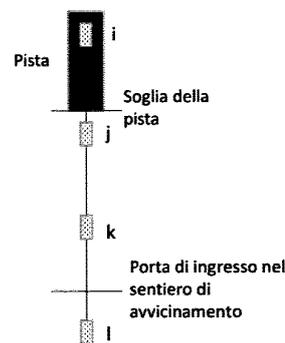
Svolgimento

Le regole aeronautiche stabiliscono che una stessa pista non possa essere impegnata contemporaneamente da due velivoli (i e j).

Ne consegue che, qualora lungo la pista permanga un velivolo (i) in fase di rallentamento, il minimo distanziamento temporale tra due velivoli successivi i e j sia il massimo valore tra quello del velivolo j che segue, calcolato mediante l'apposita formula relativa al caso studiato (**caso I** se $v_j \geq v_i$ oppure **caso II** se $v_j < v_i$), e il tempo di occupazione della pista o_i del velivolo i che precede.

$$t'_{min} = \max\left(\frac{\delta}{v_j}; o_i\right) \text{ per } v_j \geq v_i$$

$$t''_{min} = \max\left(\frac{\delta}{v_j} + \gamma * \left(\frac{1}{v_j} + \frac{1}{v_i}\right); o_i\right) \text{ per } v_j < v_i$$



Per la determinazione della capacità per la manovra di atterraggio con composizione eterogenea del traffico aereo, si procede come sin ora fatto.

Innanzitutto quindi si calcola il tempo minimo di distanziamento tra due velivoli successivi per ogni combinazione possibile tra le diverse categorie di velocità, per poi riassumere i risultati ottenuti in forma matriciale.

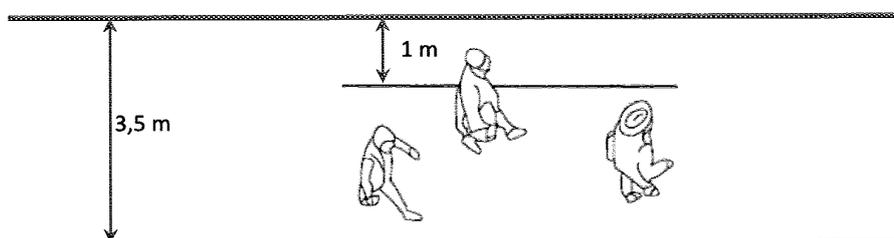
$$t_{ij} = [t(v_i, v_j)] = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} & t_{44} \end{bmatrix}$$

L'ordinamento decrescente delle classi di velocità fornito nella Tabella 2 suggerisce anche in questo esercizio una valutazione dei soli elementi sulla diagonale e sopra la diagonale della matrice t_{ij} .

ESERCITAZIONE 2 – SQUADRE RIUNITE – 19 marzo 2015

Esercizio 1 – DEFLUSSO PEDONALE E LIVELLI DI SERVIZIO

Si consideri un segmento di marciapiede di larghezza 3,5 m, delimitato su un lato da un cordolo e sull'altro da vetrine di negozi. Considerando che la presenza delle vetrine sottrae circa 1 m alla normale circolazione dei pedoni, e che nel quarto d'ora di massimo movimento sono stati osservati 1200 pedoni, si determini il LOS nel corso del quarto d'ora di punta.



Svolgimento

Il *livello di servizio LdS* (o *Level of Service, LoS*) è un indicatore sintetico che quantifica le prestazioni percepite dall'utenza, in termini di qualità del servizio offerto da un'infrastruttura.

Tale definizione è presente nell'*Highway Capacity Manual (HCM)*, testo di riferimento mondiale per le analisi della circolazione nei sistemi di trasporto stradale. Le procedure HCM per la determinazione del Livello di Servizio si basano su sei categorie, da A ad F, ognuna delle quali rappresenta la capacità di una infrastruttura o di una intersezione stradale.

In condizioni di flusso ininterrotto, il LOS è definito in funzione di grandezze relative a parametri che esprimono direttamente la qualità della circolazione, come la velocità media di viaggio, il rapporto q/c e la densità della corrente. Quest'ultime sono correlate tra di loro mediante la seguente relazione fondamentale

$$Q_{ped} = V_{ped} \cdot D_{ped}$$

Con

Q_{ped} = volume di pedoni (ped/min/m)

V_{ped} = velocità media della corrente di pedoni (m/min)

D_{ped} = densità dei pedoni (ped/m²)

Dalla quale si ricava

$$Q_{ped} = \frac{V_{ped}}{\frac{1}{D_{ped}}}$$

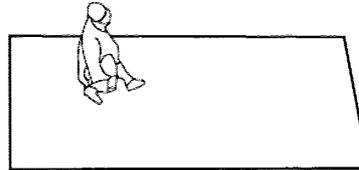
Con $1/D_{ped}$ = spazio disponibile per ciascun pedone (m²/ped).

Di seguito è riportata la descrizione propria di ogni LoS che si ritrova nel HCM.

LOS A

Pedestrian Space > 60 ft²/p *Flow Rate* ≤ 5 p/min/ft

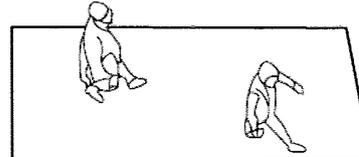
At a walkway LOS A, pedestrians move in desired paths without altering their movements in response to other pedestrians. Walking speeds are freely selected, and conflicts between pedestrians are unlikely.



LOS B

Pedestrian Space > 40–60 ft²/p *Flow Rate* > 5–7 p/min/ft

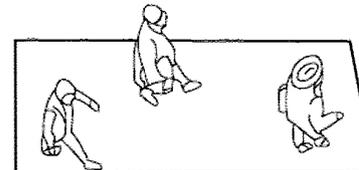
At LOS B, there is sufficient area for pedestrians to select walking speeds freely, to bypass other pedestrians, and to avoid crossing conflicts. At this level, pedestrians begin to be aware of other pedestrians, and to respond to their presence when selecting a walking path.



LOS C

Pedestrian Space > 24–40 ft²/p *Flow Rate* > 7–10 p/min/ft

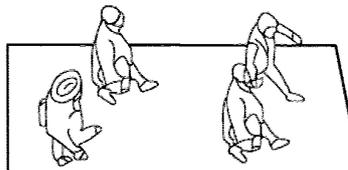
At LOS C, space is sufficient for normal walking speeds, and for bypassing other pedestrians in primarily unidirectional streams. Reverse-direction or crossing movements can cause minor conflicts, and speeds and flow rate are somewhat lower.



LOS D

Pedestrian Space > 15–24 ft²/p *Flow Rate* > 10–15 p/min/ft

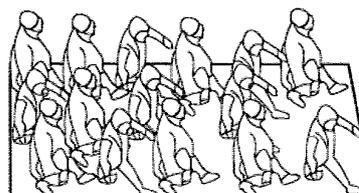
At LOS D, freedom to select individual walking speed and to bypass other pedestrians is restricted. Cross- or reverse-flow movements face a high probability of conflict, requiring frequent changes in speed and position. The LOS provides reasonably fluid flow, but friction and interaction between pedestrians is likely.



LOS E

Pedestrian Space > 8–15 ft²/p *Flow Rate* > 15–23 p/min/ft

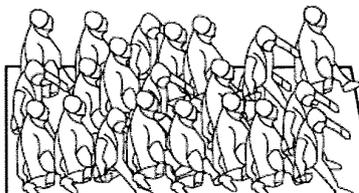
At LOS E, virtually all pedestrians restrict their normal walking speed, frequently adjusting their gait. At the lower range, forward movement is possible only by shuffling. Space is not sufficient for passing slower pedestrians. Cross- or reverse-flow movements are possible only with extreme difficulty. Design volumes approach the limit of walkway capacity, with stoppages and interruptions to flow.



LOS F

Pedestrian Space ≤ 8 ft²/p *Flow Rate* varies p/min/ft

At LOS F, all walking speeds are severely restricted, and forward progress is made only by shuffling. There is frequent, unavoidable contact with other pedestrians. Cross- and reverse-flow movements are virtually impossible. Flow is sporadic and unstable. Space is more characteristic of queued pedestrians than of moving pedestrian streams.



Note: 1 ft²/p = 0.09 m²/p; 1 p/min/ft = 3.3 p/min/m

Relazione fondamentale, $Q = V * D$:

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

Da cui si ricava un'equazione del secondo ordine in V

$$Q - D_c * \left(V - \frac{V^2}{VFL}\right) = Q - D_c * V + \frac{D_c}{VFL} * V^2 = 0$$

$$V = \frac{D_c \pm \sqrt{D_c^2 - 4 * \frac{D_c}{VFL} * Q}}{2 * \frac{D_c}{VFL}} = \frac{76.67 \text{ v/km} \pm \sqrt{(76.67 \text{ v/km})^2 - 4 * \frac{76.67 \text{ v/km}}{120 \text{ km/h}} * 1200 \text{ v/h}}}{2 * \frac{76.67 \text{ v/km}}{120 \text{ km/h}}} =$$

$$= \frac{76.67 \frac{\text{v}}{\text{km}} \pm 53.02 \frac{\text{v}}{\text{km}}}{1.28 \text{ v/h}}$$

Risolviendo si ricavano due velocità V (Km/h), appartenenti ai due rami della parabola (figura 3) :

- $V_1 = 101.3 \text{ km/h} > V_{CR}$, V_1 appartiene al ramo di parabola superiore, relativo ad un *flusso stabile*;
- $V_2 = 18.3 \text{ km/h} < V_{CR}$, V_2 appartiene al ramo di parabola inferiore, relativo ad un *flusso instabile*.

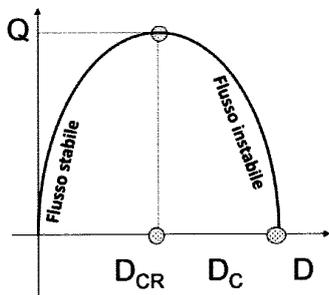


Figura 3

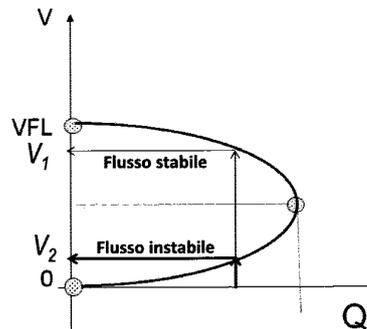


Figura 4

VFL	120	km/h	(velocità di flusso libero)
Q _{cr}	2300	v/h	(capacità o flussocritico)
Q	1200	v/h	(flusso o volume orario)
<hr/>			
V _{cr}		km/h	(velocità critica)
D _{cr}		v/km	(densità critica)
D _c		v/km	(densità in condizioni di congestione)

Esercizio 5 – AUTOSTRADA URBANA ESISTENTE

Un'autostrada urbana esistente è costituita da due carreggiate con due corsie ciascuna. Le caratteristiche geometriche sono le seguenti:

- corsie di larghezza 3,3 m e banchine di larghezza 60 cm;
- densità di 4,5 rampe per km di autostrada;
- terreno collinare.

Il volume orario direzionale nell'ora di punta è pari a 3500 v/h. Calcolare il livello di servizio dell'autostrada assumendo un PHF pari a 0,95 e sapendo che il traffico di mezzi commerciali è pari al 5%.

Svolgimento

Occorre innanzitutto convertire le unità di misura dei dati forniti secondo quelle adottate dal manuale di nostra riferimento, cioè l' HCM.

Larghezza delle corsie: $3,3 \text{ m} = 3,3 \text{ m} / 0,305 \text{ m/ft} = 10.82 \text{ ft}$

Larghezza delle banchine: $0,6 \text{ m} = 0,6 \text{ m} / 0,305 \text{ m/ft} = 1.17 \text{ ft}$

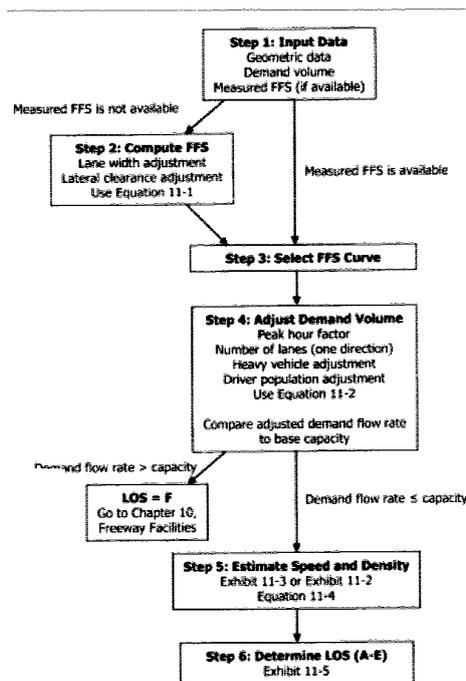
Densità delle rampe: $4,5 \text{ r/km} = 4,5 \text{ r/km} \cdot 1,61 \text{ km/mi} = 7.25 \text{ r/mi}$

A questo punto è possibile procedere con la ricerca del livello di servizio LOS, riconducendosi alle **condizioni di base**, poiché a queste si riferiscono i modelli di riferimento (e le relative equazioni). Ogni situazione che si discosti da queste condizioni standard prevede l'adozioni di adeguati fattori correttivi, descritti e tabulati nel manuale HCM.

D'altra parte la metodologia di calcolo è specifica per ogni tipologia di infrastruttura. In questo caso si è di fronte ad una autostrada urbana e le metodologie di analisi possibili sono le seguenti:

- **Operativa:** applicata a strade esistenti o in progetto, finalizzata alla definizione del LOS;
- **Dimensionale:** per il calcolo del numero di corsie necessarie a garantire un certo LOS.

In questo caso si adotterà un procedimento operativo, schematizzato nell' HCM come segue:

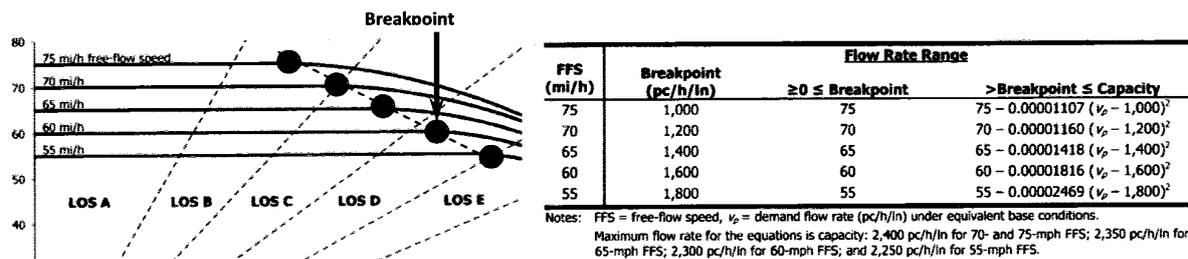


A questo punto è possibile calcolare il **tasso di flusso corretto, V_P** :

$$V_P = \frac{VH}{PHF * N * f_{HV} * f_p} = \frac{3500 \text{ v/h}}{0.95 * 2 (\ln) * 0.93 * 1} = 1981 \text{ pc/h/ln}$$

Dove f_p indica il livello di conoscenza e la capacità dell'utenza di usare l'infrastruttura e varia tra 0,75 e 1. In questo caso è assunto pari all'unità.

La **velocità nelle condizioni di base S (speed)** si calcola sfruttando la tabella di seguito riportata, in funzione del fattore FFS precedentemente ricavato (circa 50 mi/h).



$$FFS = 55 \frac{mi}{h} \rightarrow S (mi/h) = (55 - 0.00002469 * (v_p - 1800))^2$$

$$S = (55 - 0.00002469 * (1981 - 1800))^2 \text{ mi/h} = 54.19 \text{ mi/h}$$

A questo punto si sostituiscono i valori trovati nella formula della densità veicolare e si consulta il valore ricavato nella **tabella 1**:

$$D (pc/mi/ln) = \frac{v_p (pc/h/ln)}{S (mi/h)} = \frac{1981 \text{ pc/h/ln}}{54.19 \text{ mi/h}} = 36.56 \text{ pc/mi/h}$$

E si consultano la **tabella 2** e il grafico relativi dei LOS in funzione della densità (*density*), che in questo caso risulta appartenente al range ">35-45 (pc/mi/h)".

LOS	Density (pc/mi/ln)
A	≤ 11
B	>11-18
C	>18-26
D	>26-35
E	>35-45
F	Demand exceeds capacity >45

Tabella 2

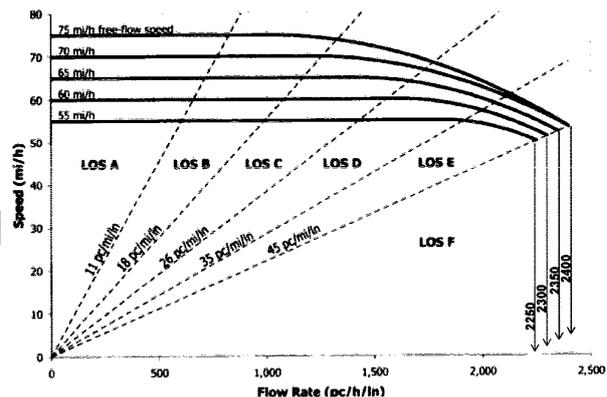


Tabella 1

Per il calcolo del fattore f_{HV} si distingue

- il tratto pianeggiante (*level*): $f_{HV} = \frac{1}{1+P_T*(E_T-1)+P_R*(E_R-1)} = \frac{1}{1+0.15*(1.5-1)+0} = 0.93$

Exhibit 11-10
PCEs for Heavy Vehicles in General Terrain Segments

Vehicle	PCE by Type of Terrain		
	Level	Rolling	Mountainous
Trucks and buses, E_T	1.5	2.5	4.5
RVs, E_R	1.2	2.0	4.0

- il tratto in discesa: $f_{HV} = \frac{1}{1+P_T*(E_T-1)+P_R*(E_R-1)} = \frac{1}{1+0.15*(1.5-1)+0} = 0.93$

Per i quali il calcolo di E_T relativamente al tratto in salita e in discesa il manuale suggerisce di utilizzare la **tabella 11-10**.

- il tratto in salita: $f_{HV} = \frac{1}{1+P_T*(E_T-1)+P_R*(E_R-1)} = \frac{1}{1+0.15*(2.5-1)+0} = 0.816$

Dove per il calcolo di E_T si ricorre alla **tabella 11-11**. (*upgrade, i = 4% > 3 - 4%, length, L = 1.86 mi > 1.50 mi, proportion of trucks and buses, $P_T = 15%$*) $\rightarrow E_T = 2.5$

Upgrade (%)	Length (mi)	Proportion of Trucks and Buses									
		2%	4%	5%	6%	8%	10%	15%	20%	≥25%	
≤2	All	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	0.00-0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
>2-3	>0.25-0.50	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.50-0.75	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.75-1.00	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	>1.00-1.50	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	>1.50	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
>3-4	0.00-0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.25-0.50	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	>0.50-0.75	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	>0.75-1.00	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	>1.00-1.50	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
>4-5	>1.50	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
	0.00-0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.25-0.50	3.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	>0.50-0.75	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	>0.75-1.00	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
>5-6	>1.00	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0
	0.00-0.25	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.25-0.30	4.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	>0.30-0.50	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	>0.50-0.75	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
>6	>0.75-1.00	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	>1.00	6.0	5.0	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.5
	0.00-0.25	4.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0
	>0.25-0.30	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5
	>0.30-0.50	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5
>6	>0.50-0.75	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0
	>0.75-1.00	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.5
	>1.00	7.0	6.0	5.5	5.5	5.0	4.5	4.0	4.0	4.0	4.0

Exhibit 11-11
PCEs for Trucks and Buses (E_T) on Upgrades

Note: Interpolation for percentage of trucks and buses is recommended to the nearest 0.1.

A questo punto è possibile calcolare il numero di corsie N_{corsie} .

Dato il FFS precedentemente calcolato: $FFS = 74.70 \frac{mi}{h} \cong 75 \frac{mi}{h} \xrightarrow{LOS B} V_{P,msx} = 1310 \text{ pc/h/ln}$

$$N = \frac{VHP \left(\frac{v}{h}\right)}{PHF * V_{P,max}(pc/h/ln) * f_{hv} * f_p} = \frac{2700}{0.85 * 1310 * 0.93 * 1} = 2.6 \text{ ln}$$

E il calcolo del numero di corsie (N) nel tratto in salita:

$$N = \frac{VHP (v/h)}{PHF * V_{P,max}(pc/h/ln) * f_{hv} * f_p} = \frac{2700 v/h}{0.85 * 1310 \text{ pc/h/ln} * 0.816 * 1} = 2.97 \text{ ln}$$

Il numero di corsie necessario per garantire un LOS B oscilla tra il 2.6 e il 2.97, pertanto si adottano **tre corsie per senso di marcia** lungo tutto il tracciato. Si osserva anche che il tratto in salita entra in crisi prima, in caso di incremento del traffico. Si riterrà pertanto necessario l'inserimento di una corsia di arrampicamento alle tre corsie suddette.

FFS	LOS				
	A	B	C	D	E
75	820	1310	1750	2110	2400
70	770	1250	1690	2080	2400
65	710	1170	1630	2030	2350
60	660	1080	1560	2010	2300
55	600	990	1430	1900	2250

Data la doppia funzionalità di queste sezioni dalla possibilità di sorpasso nelle corsie di marcia, l'analisi volgerà spesso in parallelo per la direzione in esame e la direzione opposta.

1) La stima del Velocità di Flusso Libero, VFL (o Free Flow Speed, FFS)

$$FFS \text{ (mi/h)} = BFFS - f_{LS} - f_A$$

- $BFFS$ (mi/h): la velocità di flusso libero nelle condizioni base
- f_{LS} (mi/h): il fattore di riduzione relativo alla lunghezza delle corsie (*lane*) e delle banchine (*shoulder*)
- f_A (mi/h): il fattore di riduzione relativo alla densità dei punti d'accesso (*access-point density*)

2) Regolazione della domanda dell' ATS e stima dell'ATS

$$ATS_d = FFS - 0.00776 * (v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{NP,ATS,d} \quad \text{Con } \begin{cases} \text{"d": la direzione in esame} \\ \text{"o": la direzione opposta} \end{cases}$$

- FFS (mi/h): velocità di flusso libero (vedi punto 1);
- $v_{i,ATS}$ (pc/h): tasso di flusso corretto (i = "d" oppure "o"): $v_{i,ATS} = \frac{VH_i}{PHF * f_{G,ATS} * f_{HV,ATS}}$
 - VH_i (v/h): volume orario di progetto;
 - PHF (-): fattore dell'ora di punta;
 - $f_{G,ATS}$: fattore di rettifica della pendenza, $f_{G,ATS} = \frac{1}{1 + P_T * (E_T - 1) + P_R * (E_R - 1)}$;
 - $f_{HV,ATS}$: fattore di rettifica dei mezzi pesanti, $f_{HV,ATS} = \frac{1}{1 + P_T * (E_T - 1) + P_R * (E_R - 1)}$;
- $f_{NP,ATS}$: fattore correttivo relativo alla percentuale di zona di sorpasso impedito

3) Regolazione della domanda dell'PTSF e stima dell'PTSF

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{NP,PTSF,d} \cdot \left(\frac{v_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right)$$

Calcolato per entrambe le direzioni, previa determinazione di:

- $BPTSF_d$ (-): percentuale di tempo speso in coda nelle condizioni base, nella direzione analizzata (a, b: coefficienti tabulati): $BPTSF_i = 100 \left(1 - e^{-a_i \cdot v_i^b} \right)$
- $f_{NP,PTSF,d}$: fattore di conversione della zona di sorpasso impedito, rispetto alla direzione analizzata
- $v_{d,PTSF}$ (pc/h): velocità di flusso nella direzione in esame per la stima di PTSF
- $v_{o,PTSF}$ (pc/h): velocità di flusso nella direzione opposta per la stima di PTSF

4) calcolo del LOS e della capacità

Di seguito verranno quindi riprese tutte le tappe appena esposte con i relativi calcoli e le tabelle consultate volta per volta, tratte dal manuale HCM 2010.

1) Velocità di Flusso Libero, VFL

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A = 59.0 - 1.3 - 5.5 = 52.5 \text{ mi/h}$$

- f_{LS} (mi/h) è stato calcolato consultando la **Tabella 15.7**:

$$\begin{aligned} L_{corsie} &= 12.23 \text{ ft} \geq 12 \text{ ft} \\ L_{banchine} &= 4.92 \text{ ft} \geq 4 > 6 \end{aligned} \rightarrow f_{LS} = 1.3$$

Exhibit 15-7
Adjustment Factor for Lane and Shoulder Width (f_{LS})

Lane Width (ft)	Shoulder Width (ft)			
	≥0 <2	≥2 <4	≥4 <6	≥6
≥9 <10	6.4	4.8	3.5	2.2
≥10 <11	5.3	3.7	2.4	1.1
≥11 <12	4.7	3.0	1.7	0.4
≥12	4.2	2.6	1.3	0.0

- il fattore riduttivo per il numero di accessi f_A (mi/h) è stato ottenuto per interpolazione lineare al 0.1 più vicino dalla **Tabella 15.8**, poiché la densità dei punti di accesso TRD ricade nell'intervallo tra 20 e 30 a/mi:

$$\begin{aligned} TRD = 21 \text{ a/mi} \xrightarrow{>20 < 30 \text{ a/mi}} f_A &= f_A(20) + \frac{[f_A(30) - f_A(20)]}{30 - 20} (21 - 20) = \\ &= 5.0 + \frac{7.5 - 5.0}{30 - 20} (21 - 20) = 5.25 \cong 5.3 \end{aligned}$$

Exhibit 15-8
Adjustment Factor for Access-Point Density (f_A)

Access Points per Mile (Two Directions)	Reduction in FFS (mi/h)
0	0.0
10	2.5
20	5.0
30	7.5
40	10.0

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

2) Regolazione della domanda dell' ATS e stima dell'ATS

$$ATS_d = FFS - 0.00776 * (v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{NP,ATS,d}$$

Con $\begin{cases} \text{"d": la direzione in esame} \\ \text{"o": la direzione opposta} \end{cases}$

2.1) tasso di flusso corretto $v_{i,ATS}$:
$$v_{i,ATS} = \frac{VH_i}{PHF * f_{G,ATS} * f_{HV,ATS}}$$

Siano il volume orario di progetto $VH=500$ v/h e il fattore di traffico nell'ora di punta $PHF=0.88$.

2.1.1) *Volume di traffico (VH) e Tasso di flusso (TF o v_{vph})*

Se la distribuzione del traffico nell'ora di punta è pari a 40/60, allora il volume di traffico (VH) e del tasso di flusso (TF o v_{vph}) nelle due direzioni ("d" = direzione in esame e "o" = direzione opposta) valgono:

$$\begin{aligned} VH_d &= 0,4 \cdot VH = 0.4 \cdot 500 = 200 \text{ v/h} & v_{vph,d} &= VH/PHF = 200/0.88 = 228 \text{ v/h} \\ VH_o &= 0,6 \cdot VH = 0.6 \cdot 500 = 300 \text{ v/h} & v_{vph,o} &= VH/PHF = 300/0.88 = 341 \text{ v/h} \end{aligned}$$

Il fattore riduzione relativo alla presenza di mezzi pesanti f_{HV} varrà dunque:

- Direz. "d", $f_{HV,ATS} = \frac{1}{1+P_T*(E_T-1)+P_R*(E_R-1)} = \frac{1}{1+0.15*(2.2-1)+0.05*(1.1-1)} \cong 0.84$

- Direz. "o", $f_{HV,ATS} = \frac{1}{1+P_T*(E_T-1)+P_R*(E_R-1)} = \frac{1}{1+0.15*(2.1-1)+0.05*(1.1-1)} \cong 0.85$

Ritornando al tasso di flusso (v_i) nelle due direzioni (d, o) per il calcolo di ATS:

direz "d": $v_{d,ATS} = \frac{VH_d}{PHF * f_{G,ATS} * f_{HV,ATS}} = \frac{200 \text{ v/h}}{0.88 * 0.77 * 0.84} \cong 351 \text{ pc/h}$

direz "o": $v_{o,ATS} = \frac{VH_o}{PHF * f_{G,ATS} * f_{HV,ATS}} = \frac{300 \text{ v/h}}{0.88 * 0.86 * 0.85} \cong 466 \text{ pc/h}$

2.2) Coefficiente correttivo relativo alla zona di sorpasso impedito $f_{np,ATS}$

Per la stima di questo coefficiente si pratica un'interpolazione lineare su due livelli dei valori consultati nella **Tabella 15.15**, un primo per quanto concerne il v_{ATS} e un secondo per quanto riguarda il FFS.

Siano: $FFS = 52.4 \text{ mi/h}$, 40 % la percentuale di zona di sorpasso impedito, $v_{ATS,d} = 351 \text{ pc/h}$ e $v_{ATS,o} = 466 \text{ pc/h}$.

- Se la corsia in esame è la "d", quella opposta avrà $v_{ATS,o} = 466 \text{ pc/h}$

$$\left\{ \begin{aligned} f_{NP,ATS}(50 \text{ mi/h}) &= f_{NP,ATS}(200) + \frac{f_{NP,ATS}(400) - f_{NP,ATS}(200)}{400 - 200} = 1.6 + \frac{0.9 - 1.6}{400 - 600} (466 - 400) = 1.369 \cong 1.4 \\ f_{NP,ATS}(55 \text{ mi/h}) &= f_{NP,ATS}(200) + \frac{f_{NP,ATS}(400) - f_{NP,ATS}(200)}{400 - 200} = 1.9 + \frac{1.1 - 1.9}{400 - 600} (466 - 400) = 1.636 \cong 1.6 \end{aligned} \right.$$

Direzione "d", $f_{NP,ATS}$ (per interpolazione su FFS dei 2 precedenti) =

$$f_{NP,ATS}(50) + \frac{f_{NP,ATS}(55) - f_{NP,ATS}(50)}{55 - 50} (52.5 - 50) = 1.4 + \frac{1.6 - 1.4}{55 - 50} (52.3 - 50) \cong 1.5$$

- Se la corsia in esame è la "o", quella opposta sarà relativa a $v_{ATS,d} = 351 \text{ pc/h}$

$$\left\{ \begin{aligned} f_{NP,ATS}(50 \text{ mi/h}) &= f_{NP,ATS}(200) + \frac{f_{NP,ATS}(400) - f_{NP,ATS}(200)}{400 - 200} = 2.0 + \frac{1.6 - 2.0}{400 - 200} (351 - 300) = 1.898 \cong 1.7 \\ f_{NP,ATS}\left(55 \frac{\text{mi}}{\text{h}}\right) &= f_{NP,ATS}(200) + \frac{f_{NP,ATS}(400) - f_{NP,ATS}(200)}{400 - 200} = 2.4 + \frac{1.9 - 2.4}{400 - 200} (351 - 300) = 2.2725 \cong 2.0 \end{aligned} \right.$$

Direzione "o", $f_{NP,ATS} = f_{NP,ATS}(50) + \frac{f_{NP,ATS}(55) - f_{NP,ATS}(50)}{55 - 50} (52.5 - 50) = 1.7 + \frac{2.0 - 1.7}{55 - 50} (52.3 - 50) \cong 1.8$

3.1) *Percentuale di Tempo Speso in Coda nelle condizioni base, BPTSF*
 Per entrambe le direzioni i:

$$BPTSF_i = 100(1 - e^{-a_i \cdot v_i^{b_i,PTSF}})$$

Direzione "d", $BPTSF_d = 100(1 - e^{-a_d \cdot v_d^{b_d,PTSF}}) = 100(1 - e^{-0.0025315 \cdot 200^{0.909}}) = 37.3 \%$

Direzione "o", $BPTSF_o = 100(1 - e^{-a_o \cdot v_o^{b_o,PTSF}}) = 100(1 - e^{-0.0018453 \cdot 300^{0.957}}) = 45.6 \%$

Dove i coefficienti a e b e i tassi di flusso corretto v_{PTSF}^b sono stati calcolati rispettivamente nei punti 3.1.1) e 3.1.2).

3.1.1) *Tasso di flusso corretto v_{PTSF}*

$$v_{i,PTSF} = \frac{VH_i}{PHF * f_{G,PTSF} * f_{HV,PTSF}}$$

direz "d": $v_{d,PTSF} = \frac{VH_d}{PHF * f_{G,ATS} * f_{HV,ATS}} = \frac{200 \text{ v/h}}{0.88 * 0.81 * 0.89} \cong 315 \text{ pc/h}$

direz "o": $v_{o,PTSF} = \frac{VH_o}{PHF * f_{G,ATS} * f_{HV,ATS}} = \frac{300 \text{ v/h}}{0.88 * 0.87 * 0.90} \cong 453 \text{ pc/h}$

3.1.2.1) *fattore riduttivo della pendenza $f_{G,PTSF}$*

$$v_{vph,d} = 228 \frac{v}{h} \xrightarrow{>200 \leq 300 \frac{v}{h}} f_G = f_G(\leq 200) + \frac{f_G(\leq 300) - f_G(\leq 200)}{(300 - 200)}(228 - 200) = 0.80 + \frac{0.85 - 0.80}{100}(228 - 200) = 0.814 \cong 0.81$$

$$v_{vph,o} = 341 \frac{v}{h} \xrightarrow{>300 \leq 400 \frac{v}{h}} f_G = f_G(\leq 300) + \frac{f_G(\leq 400) - f_G(\leq 300)}{(400 - 300)}(341 - 300) = 0.85 + \frac{0.90 - 0.85}{100}(341 - 300) = 0.8705 \cong 0.87$$

Exhibit 15-16
 PTSF Grade Adjustment Factor
 ($f_{G,PTSF}$) for Level Terrain, Rolling
 Terrain, and Specific Downgrades

Directional Demand Flow Rate, v_{vph} (veh/h)	Level Terrain and Specific Downgrades		Rolling Terrain
	≤100	1.00	
200	1.00		0.80
300	1.00		0.85
400	1.00		0.90
500	1.00		0.96
600	1.00		0.97
700	1.00		0.99
800	1.00		1.00
≥900	1.00		1.00

Note: Interpolation to the nearest 0.01 is recommended.

- direzione "o" in esame (considero $v_o=315 pc/h$):

$$a_o = a_o(200) + \frac{a_o(400)-a_o(200)}{400-200}(315 - 200) = -0.0014 + \frac{-0.0022+0.0014}{400-200}(315 - 200) = -0.00186 \cong -0.0018$$

$$b_d = b_d(200) + \frac{b_d(400)-b_d(200)}{400-200}(315 - 200) = 0.973 + \frac{0.923-0.973}{400-200}(315 - 200) = 0.94425 \cong 0.952$$

3.2) Coefficiente correttivo relativo alla zona di sorpasso impedito $f_{np,ATS}$

Siano:

- $FFS = 52.4 mi/h$,
- 40 % la percentuale di zona di sorpasso impedito
- distribuzione del traffico nell'ora di punta pari a 40/60 tra le due corsie
- $v_{PTFS,d} + v_{PTFS,o} = (315 + 453)pc/h = 768 pc/h$

Allora Direzione "d", $f_{NP,PTSF} =$ Direzione "o", $f_{NP,PTSF} =$

$$f_{NP,PTSF}(800) + \frac{f_{NP,PTSF}(600)-f_{NP,PTSF}(800)}{800-600}(768 - 600) = 44.0 + \frac{33.4-44.0}{800-600} * (768 - 600) = 35.095 \cong 35.1 mi/h$$

Con i valori di $f_{NP,PTSF}(600)$ e $f_{NP,PTSF}(800)$ dal momento che il *directional split* nel nostro caso è invertito (40/60 anziché 60/40).

Exhibit 15-21
No-Passing-Zone Adjustment
Factor ($f_{np,PTSF}$) for
Determination of PTSF

Total Two-Way Flow Rate, $v = v_d + v_o (pc/h)$	Percent No-Passing Zones					
	0	20	40	60	80	100
Directional Split = 50/50						
≤200	9.0	29.2	43.4	49.4	51.0	52.6
400	16.2	41.0	54.2	61.6	63.8	65.8
600	15.8	38.2	47.8	53.2	55.2	56.8
800	15.8	33.8	40.4	44.0	44.8	46.6
1,400	12.8	20.0	23.8	26.2	27.4	28.6
2,000	10.0	13.6	15.8	17.4	18.2	18.8
2,600	5.5	7.7	8.7	9.5	10.1	10.3
3,200	3.3	4.7	5.1	5.5	5.7	6.1
Directional Split = 60/40						
≤200	11.0	30.6	41.0	51.2	52.3	53.5
400	14.5	36.3	44.8	53.4	55.0	56.2
600	14.8	36.9	44.0	51.1	52.8	54.6
800	13.6	28.2	33.4	38.6	39.9	41.3
1,400	11.8	18.9	22.1	25.4	26.4	27.5
2,000	9.1	13.5	15.6	16.0	16.8	17.3
2,600	5.9	7.7	8.6	9.6	10.0	10.2
Directional Split = 70/30						
≤200	9.9	28.1	38.0	47.8	48.5	49.0
400	10.6	30.3	38.6	46.7	47.7	48.8
600	10.9	30.9	37.5	43.9	45.4	47.0
800	10.3	23.6	28.4	33.3	34.5	35.5
1,400	8.0	14.6	17.7	20.8	21.6	22.3
2,000	7.3	9.7	11.7	13.3	14.0	14.5
Directional Split = 80/20						
≤200	8.9	27.1	37.1	47.0	47.4	47.9
400	6.6	26.1	34.5	42.7	43.5	44.1
600	4.0	24.5	31.3	38.1	39.1	40.0
800	3.8	18.5	23.5	28.4	29.1	29.9
1,400	3.5	10.3	13.3	16.3	16.9	32.2
2,000	3.5	7.0	8.5	10.1	10.4	10.7
Directional Split = 90/10						
≤200	4.6	24.1	33.6	43.1	43.4	43.6
400	0.0	20.2	28.3	36.3	36.7	37.0
600	-3.1	16.8	23.5	30.1	30.6	31.1
800	-2.8	10.5	15.2	19.9	20.3	20.8
1,400	-1.2	5.5	8.3	11.0	11.5	11.9

Note: Straight-line interpolation of $f_{np,PTSF}$ for percent no-passing zones, demand flow rate, and directional split is recommended to the nearest 0.1.

Esercizio 2 – AUTOSTRADA URBANA ESISTENTE IN AMMODERNAMENTO

Per una autostrada urbana esistente è previsto un intervento di riqualificazione geometrica e di potenziamento funzionale.

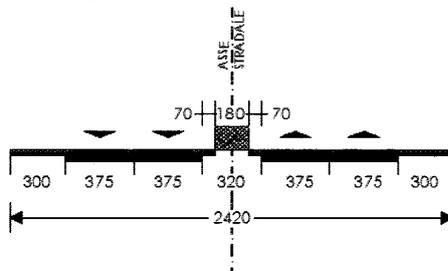
Attualmente, essa è costituita da due carreggiate con due corsie ciascuna. Le caratteristiche sono le seguenti:

- corsie di larghezza 3,3 m e banchine di larghezza 1,80 cm;
- densità di 3,5 rampe per km di autostrada;
- terreno pianeggiante;
- traffico di mezzi commerciali è pari al 15%;
- volume orario direzionale nell'ora di punta è pari a 3000 v/h;
- PHF pari a 0,92.

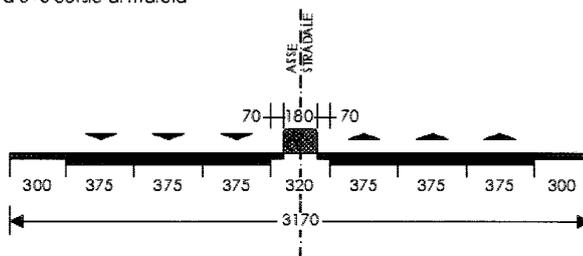
Dopo aver determinato l'attuale livello di servizio, si chiede di progettare la nuova sezione trasversale assumendo un livello di servizio C considerando un aumento del volume orario direzionale, a lavori di ammodernamento ultimati, del 15% rispetto all'attuale.

Sezioni tipologiche di autostrada urbana secondo DM. 6792/2001

Soluzione base a 2+2 corsie di marcia



Soluzione a 3+3 corsie di marcia



Conversione delle unità di misura dell'esercizio:

Larghezza delle corsie: $3,3 \text{ m} = 3,3 \text{ m} / 0,305 \text{ m/ft} = 10,82 \text{ ft}$

Larghezza delle banchine: $0,018 \text{ m} = 0,018 \text{ m} / 0,305 \text{ m/ft} = 0,059 \text{ ft}$

Densità delle rampe: $3,5 \text{ r/km} = 3,5 \text{ r/km} \cdot 1,61 \text{ km/mi} = 5,635 \text{ r/mi}$

ESERCITAZIONE 3 – SQUADRE UNITE - 26 marzo 2015

Esercizio 1 – Resistenze ordinarie in ambito stradale

Determinare le resistenze ordinarie di un'autovettura di massa pari a 897 kg_m che viaggia alla velocità costante di 130 km/h. Si adottino i seguenti valori:

- $r_{RD} = 15 \text{ N/kN}$;
- $\delta = 1,247 \text{ Nm}^{-4}\text{s}^2$ (temperatura di 10°C e pressione di 1 atm);
- $S = 2,4 \text{ m}^2$;
- $c = 0,35$.

Svolgimento

$$R_{ord} = R_{RD} + R_a$$

$$P = m \cdot g = \left(897 \text{ kg}_m \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot (10^{-3} \text{ N/kN}) = 8.80 \text{ kN}$$

$$R_{RD} = P \cdot r_{rd} = 8.80 \text{ kN} \cdot 15 \text{ N/kN} = 132.0 \text{ N}$$

$$R_a = \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot c \cdot S \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.247 \text{ Nm}^{-4}\text{s}^2 \cdot 0.35 \cdot 2.4 \text{ m}^2 \cdot \left(\frac{130 \text{ m}}{3.6 \text{ s}}\right)^2 = 683.0 \text{ N}$$

$$R_{ord} = R_{RD} + R_a = 132 \text{ N} + 683 \text{ N} = 815.0 \text{ N} \rightarrow r_{ord} = \frac{R_{ord}}{P} = \frac{815 \text{ N}}{8.80 \text{ kN}} = 77.6 \text{ N/kN}$$

Esercizio 2 – Resistenze ordinarie in ambito ferroviario

Determinare le resistenze ordinarie specifiche di un treno passeggeri alla velocità di 160 km/h costituito da un locomotore elettrico veloce (massa pari a 89.000 kg_m) e da 12 vagoni a pieno carico (massa a vuoto pari a 36.000 kg_m/vagone, 82 posti, 2 carrelli). Si assuma per ogni passeggero una massa pari a 80 kg_m.

Svolgimento

Locomotore:

$$r_{ord,L} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.0003 \cdot \left(160 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2 = 10.18 \frac{\text{N}}{\text{kN}}$$

$$P_L = m_L \cdot g = \left(89000 \text{ kg}_m \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot (10^{-3} \text{ N/kN}) = 873.09$$

Vagone:

$$r_{ord,V} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00014 \cdot \left(160 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2 = 6.08 \frac{\text{N}}{\text{kN}}$$

$$P_V = (m_V + n_{pass} \cdot m_{pass}) \cdot g = \left((36000 \text{ kg}_m + 82 \text{ pass} \cdot 80 \text{ kg/pass}) \cdot 9.81 \text{ m/s}^2\right) \cdot (10^{-3} \text{ N/kN}) = 417.51 \text{ kN}$$

$$R_{ord,T} = (n_L \cdot P_L \cdot R_{ord,L}) + (n_V \cdot P_V \cdot R_{ord,V}) =$$

$$= \left(1 \text{ loc} \cdot 873.09 \frac{\text{kN}}{\text{loc}} \cdot 10.18 \frac{\text{N}}{\text{kN}}\right) + \left(12 \text{ vag} \cdot 417.51 \frac{\text{kN}}{\text{vag}} \cdot 6.08 \frac{\text{N}}{\text{kN}}\right) = 39369.9 \text{ N}$$

$$P_C = n_L \cdot P_L + n_V \cdot P_V = \left(1 \text{ loc} \cdot 873.09 \frac{\text{kN}}{\text{loc}}\right) + \left(12 \text{ vag} \cdot 417.51 \frac{\text{kN}}{\text{vag}}\right) = 5883.3 \text{ kN}$$

$$r_{ord,C} = \frac{R_{ord,C}}{P_C} = \frac{39369.9 \text{ N}}{5883.3 \text{ kN}} = 6.69 \frac{\text{N}}{\text{kN}}$$

Esercizio 4 – Prestazioni sulle livellette stradali

Di un tratto di strada di categoria C, di cui si conosce l'andamento altimetrico (Figura 1), si deve valutare se sia necessario inserire una corsia di arrampicamento. A questo proposito è assunto come veicolo di progetto uno avente una potenza specifica di 0,55 W/N e di cui è nota la velocità iniziale di 40 km/h.

Si rediga il diagramma delle velocità del veicolo di progetto in entrambe le direzioni, utilizzando il metodo grafico (Figura 2).

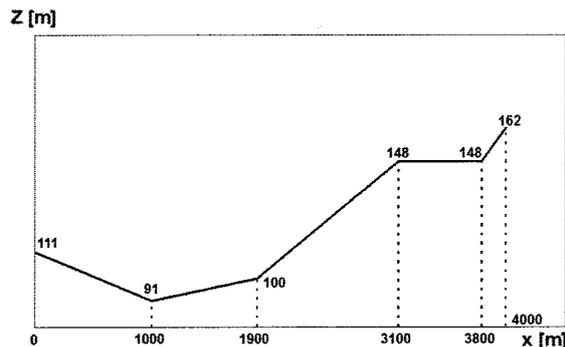


Figura 1: andamento altimetrico

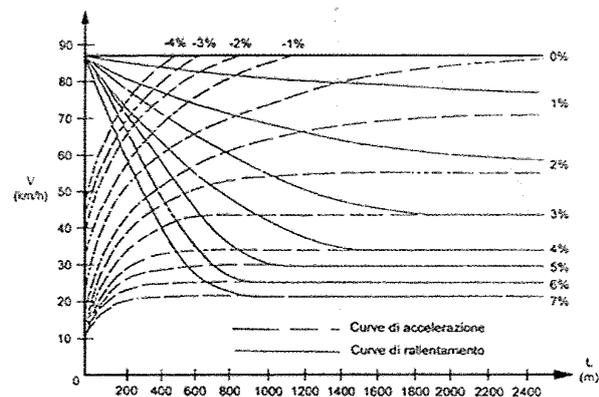
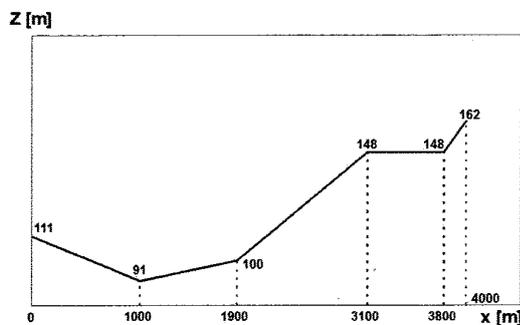


Figura 2: Abaco per $W/N = 0,55$

Svolgimento

Nota l'andamento altimetrico, si calcolano le caratteristiche geometriche del tratto in esame:



Livelletta	Δz (m)	Lunghezza L(m)	Pendenza i (%)
1	-20	1000	-2
2	9	900	1
3	48	1200	4
4	0	700	0
5	14	200	7

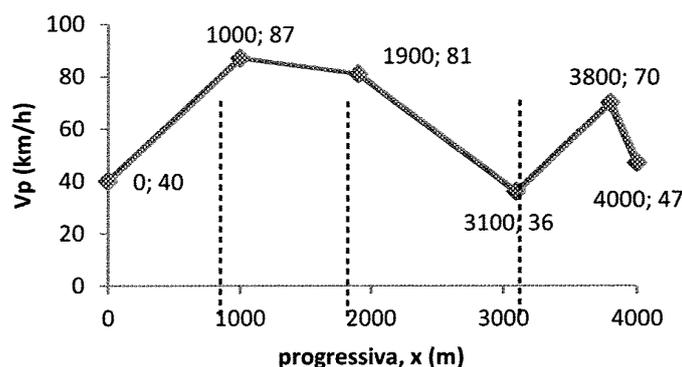
Specificato l'intervallo di variazione delle velocità di progetto per la strada di categoria C (), si individuano le velocità che il veicolo di progetto avrà al termine di ogni livelletta con l'ausilio degli abachi riportati nelle norme tecniche svizzere (SNV 640 138). Si procede nel seguente modo:

1. si entra con il valore di velocità che il veicolo di progetto ha all'inizio della livelletta (all'inizio $V = 40$ km/h, come esposto nel problema);
2. la retta orizzontale condotta da tale punto intersecherà la curva (di accelerazione o decelerazione), relativa alla pendenza della livelletta in oggetto, nel punto 1;
3. dall'ascissa del punto 1 di intersezione si riporta la lunghezza della livelletta in oggetto, individuando il punto 2;
4. dal punto 2 si disegna una verticale che intersecherà la curva (di accelerazione o decelerazione), relativa alla pendenza della livelletta in oggetto, nel punto 3;
5. l'ordinata del punto 3 rappresenta la velocità che il veicolo di progetto avrà al termine della livelletta e, quindi, la velocità che avrà all'inizio della livelletta successiva.

Ricapitolando i risultati fino ad ora trovati:

	L [m]	Q _i [m]	Q _f [m]	i [-]	V _i [km/h]	V _f [km/h]
i ₁	1000	111	91	-0,02	40	87
i ₂	900	91	100	0,01	87	81
i ₃	1200	100	148	0,04	81	36
i ₄	700	148	148	0,00	36	70
i ₅	200	148	162	0,07	70	47

È possibile ora tracciare il profilo delle velocità in funzione della progressiva dell'asse stradale.



Resta soltanto più da verificare che le velocità ricavate rispettino le norme tecniche di sicurezza, confrontandole con le velocità di progetto V_p (km/h) relativa alla categoria di strada considerata (categoria C: $60 < V_p < 100 \frac{km}{h}$).

Dalla norma tecnica italiana (D.M. n.6792/2001):

... (omissis). Sulle livellette di forte pendenza, soprattutto per quelle di notevole lunghezza, dovrà valutarsi l'opportunità di allargare la sezione trasversale della strada, realizzando una corsia supplementare destinata ai veicoli lenti. L'introduzione di questa corsia dovrà, in ogni caso, essere giustificata in base ad uno studio che tenga conto del rallentamento subito dai veicoli pesanti sulle rampe, da considerarsi intollerabile se la velocità di detti veicoli si riduce a meno del 50% di quella delle autovetture sulle stesse rampe. Per la valutazione delle suddette velocità ... esse si riducono convenzionalmente sulle pendenze uguali o superiori al 6% come nella tabella seguente:

i (%)	± 6	± 7	± 8	± 9	± 10
V _p (km/h)	95	85	80	75	70

Si ricavano i limiti massimi tollerabili per le velocità dei mezzi pesanti, pari al 50% della V_{P,max} specifica per una strada di detta categoria, qualora la pendenza sia minore del 6%, altrimenti con una V dettata dalla tabella sopra citata.

Livelletta	Pendenza	V _{autovetture}	50% V _{autovetture}
1	-2	100	50
2	1	100	50
3	4	100	50
4	0	100	50
5	7	85	42,5

ESERCITAZIONE 3 – SQUADRE SEPARATE - 31 maggio 2015

Esercizio 1 – Resistenze ordinarie in ambito stradale

Determinare le resistenze ordinarie di un mezzo pesante di massa pari a 3400 kg_m che viaggia alla velocità costante di 80 km/h. Si supponga:

- $r_{RD} = 30 \text{ N/kN}$;
- $\delta = 1,204 \text{ Nm}^{-4}\text{s}^2$ (temperatura di 20°C e pressione di 1 atm);
- $S = 10,7 \text{ m}^2$;
- $C = 0,90$.

Si determini inoltre l'andamento delle resistenze complessive per il medesimo veicolo per pendenze di livelletta comprese tra -5 e +5% (per intervalli di 1%).

Svolgimento

Le resistenze ordinarie R_{ORD} sono date dalla somma della *Resistenza Rotolamento*, la cui aliquota più dovuta alla deformabilità degli pneumatici,

$$P = m \cdot g = \left(3400 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot (10^{-3} \text{ N/kN}) = 33.35 \text{ kN}$$

$$R_{RD} = P \cdot r_{RD} = 33.35 \text{ kN} \cdot 30 \frac{\text{N}}{\text{kN}} = 1000.5 \text{ N}$$

e della *Resistenza Aerodinamica*,

$$R_a = \left(\frac{1}{2} \cdot \delta \cdot v^2\right) \cdot c \cdot S = \frac{1}{2} \cdot 1.204(\text{Nm}^{-4}\text{s}^2) \cdot \left[\frac{80}{3.6} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)\right]^2 \cdot 0.90 \cdot 10.7(\text{m}^2) = 2862.85 \text{ N}$$

Quindi

$$R_{ord} = R_{RD} + R_a = 1000.5 \text{ N} + 2862.84 \text{ N} = \mathbf{3863.34 \text{ N}}$$

$$r_{ord} = \frac{R_{ord}}{P} = \frac{3863.34 \text{ N}}{33.35 \text{ kN}} = \mathbf{115.8 \frac{\text{N}}{\text{kN}}}$$

Alle resistenze complessive partecipano le resistenze ordinarie R_{ord} e le resistenze additive R_{add} . Tra quest'ultime compare la resistenza di livelletta, data dalla pendenza i in unità per mille.

$$R = R_{ord} \pm i[\text{‰}] \cdot P$$

$$R_{(-5\%)} = 3863.34 \text{ N} - 50 \cdot 33.35 \text{ kN} = 2195.84 \text{ N}$$

$$R_{(-4\%)} = 3863.34 \text{ N} - 40 \cdot 33.35 \text{ kN} = 2529.34 \text{ N}$$

$$R_{(-3\%)} = 3863.34 \text{ N} - 30 \cdot 33.35 \text{ kN} = 2862.84 \text{ N}$$

$$R_{(-2\%)} = 3863.34 \text{ N} - 20 \cdot 33.35 \text{ kN} = 3196.34 \text{ N}$$

$$R_{(-1\%)} = 3863.34 \text{ N} - 10 \cdot 33.35 \text{ kN} = 3529.84 \text{ N}$$

$$R_{(0)} = 3863.34 \text{ N} - 0 \cdot 33.35 \text{ kN} = 3863.34 \text{ N}$$

$$R_{(1\%)} = 3863.34 \text{ N} + 10 \cdot 33.35 \text{ kN} = 4196.84 \text{ N}$$

$$R_{(2\%)} = 3863.34 \text{ N} + 20 \cdot 33.35 \text{ kN} = 4530.34 \text{ N}$$

$$R_{(3\%)} = 3863.34 \text{ N} + 30 \cdot 33.35 \text{ kN} = 4863.84 \text{ N}$$

$$R_{(4\%)} = 3863.34 \text{ N} + 40 \cdot 33.35 \text{ kN} = 5197.34 \text{ N}$$

$$R_{(5\%)} = 3863.34 \text{ N} + 50 \cdot 33.35 \text{ kN} = 5530.84 \text{ N}$$

Esercizio 3 – Prestazioni in ambito ferroviario

Su una linea ferroviaria in progetto si suppone la circolazione di due tipi di convoglio a differenti velocità:

Treno passeggeri:

- locomotore elettrico veloce: $m = 89.000 \text{ kg}_m$, $W = 6.600 \text{ kW}$;
- 12 vagoni a pieno carico: $m_{vuoto} = 36.000 \text{ kg}_m/\text{vagone}$, 100 posti (considerare 80 kg a passeggero), 2 carrelli;
- $V = 160 \text{ km/h}$.

Treno merci:

- locomotore/i elettrico merci: $m = 72.000 \text{ kg}_m$, $W = 3.600 \text{ kW}$;
- 35 carri merci a pieno carico: $m = 40.000 \text{ kg}_m/\text{carro}$;
- $V = 120 \text{ km/h}$.

Determinare la massima pendenza superabile per il convoglio passeggeri e il numero di locomotori richiesti al convoglio merci per superare la medesima livelletta. Ai fini dello svolgimento, si consideri sia la condizione limite legata alla potenza, sia quella legata all'aderenza.

Tipo di veicolo	a [N/kN]	b
Locomotore elettrico veloce	2,5	0,00030
Locomotore elettrico merci	3,0	0,00050
Carri merci pieni	2,5	0,00040
Carri merci vuoti	2,5	0,00100
Vagoni a 2 assi	2,5	0,00040
Vagoni a 2 carrelli	2,5	0,00014
Elettrotreni articolati (Breuer)	1,5	$\frac{0,005 \cdot SK}{P}$
V in km/h, P in t, S in m ² , K = 0,45 per 2 elementi, K = 0,65 per 3 elementi, K = 0,71 per 4 elementi.		

Tabella 1: Coefficienti equazione binomia per veicoli ferroviari

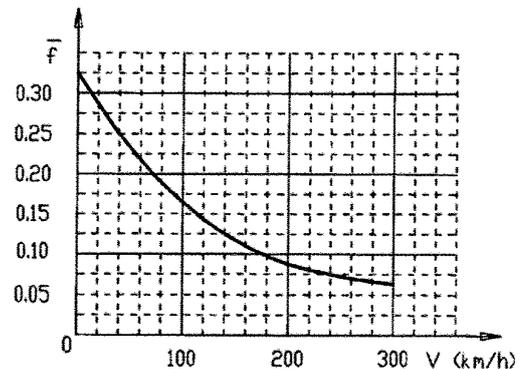


Figura 1: Coefficiente ruota-rotaia in funzione della velocità

Svolgimento

Le condizioni di livelletta determinano la massima pendenza che la forza di trazione T può vincere, secondo due situazioni limite, l'una legata alla potenza e l'altra all'aderenza, entrambe ricavate dall'equazione della trazione.

$$i_{max} = \min(i'_{max}; i''_{max}) = \begin{cases} i'_{max} = \frac{W_{max}}{P} - r_{ord,TP} \\ i''_{max} = \frac{P_a \cdot f_a}{P} - r_{ord,TP} \end{cases}$$

I calcoli sono di seguito riportati.

$$r_{ord,L,TP} = 2.5 + 0.0003 \left(160 \frac{km}{h}\right)^2 = 10.18 \frac{N}{kN}$$

$$r_{ord,V,TP} = 2.5 + 0.00014 \left(160 \frac{km}{h}\right)^2 = 6.08 \frac{N}{kN}$$

Esercizio 4 – Prestazioni sulle livellette stradali

Di un tratto di strada di categoria C si conosce l'andamento altimetrico (Figura 2), si deve valutare se sia necessario inserire una corsia di arrampicamento. A questo proposito è assunto come veicolo di progetto uno avente una potenza specifica di 0,55 W/N e di cui sono anche noti:

- $r_{RD} = 30 \text{ N/kN}$ (valore costante da assumere nei calcoli indipendentemente dalla velocità);
- $m = 56.000 \text{ kg}_m$;
- $S = 6 \text{ m}^2$;
- $c = 0,9$;
- $\delta = 1,204 \text{ [Nm}^{-4}\text{s}^2]$ ($T = 20^\circ\text{C}$, $p = 1 \text{ bar}$);
- $\beta = 1,1$.

Si rediga il diagramma delle velocità del veicolo di progetto utilizzando l'equazione della trazione risolta con il metodo delle differenze finite, considerando che il tratto di strada è affrontato a una velocità iniziale di 40 km/h. (Opzionale: direzione opposta, da sinistra verso destra)

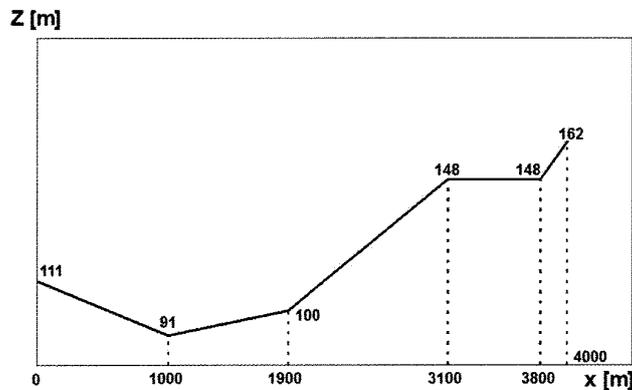


Figura 2: Andamento altimetrico

$$v_{i+1} = \frac{g}{\beta \cdot v_i^2} \cdot \left[\frac{W}{P} - v_i \cdot (i + r_{ORD}) \right] \cdot \Delta x + v_i$$

i (%)	± 6	± 7	± 8	± 9	± 10
v_p (km/h)	95	85	80	75	70

Equazione 1: Metodo delle differenze finite

Tabella 2: Velocità delle autovetture in funzione della pendenza longitudinale

Svolgimento

Allo scopo di verificare il rispetto dei limiti di velocità imposti da normativa si costruisce il diagramma delle velocità di progetto v_p (m/s), in funzione della progressiva dell'asse stradale x (m), per ogni senso di marcia. Grazie a questa rappresentazione grafica è possibile valutare l'eventuale inserimento di una corsia di rampicamento lungo quei tratti di strada, in cui siano superati i limiti di velocità, specifici per la categoria di strada in esame (in questo caso: categoria C, $60 < V_p < 100 \text{ km/h}$).

Si possono utilizzare due metodi:

- Abachi riportati nelle norme tecniche svizzere (SNV 640 138)
- Metodo analitico delle differenze finite.

Il primo metodo è spiegato nell'esercitazione §_unite. Ora spieghiamo il secondo metodo.

3

-0,02	15	41,6	30,79146	-0,07	15	43,7	30,87094
-0,02	20	42,1	30,81098	-0,07	20	44,8	30,91608
-0,02	25	42,6	30,83019	-0,07	25	45,9	30,96057
-0,02	30	43,1	30,84909	-0,07	30	46,9	31,00444
-0,02	35	43,6	30,8677	-0,07	35	47,9	31,04776
-0,02	40	44,0	30,88603	-0,07	40	48,9	31,09056
-0,02	45	44,5	30,9041	-0,07	45	49,8	31,13288
-0,02	50	44,9	30,92192	-0,07	50	50,7	31,17475
-0,02	55	45,4	30,9395	-0,07	55	51,6	31,21621
-0,02	60	45,8	30,95684	-0,07	60	52,5	31,25726
-0,02	65	46,2	30,97396	-0,07	65	53,3	31,29795
-0,02	70	46,6	30,99087	-0,07	70	54,1	31,33828
-0,02	75	47,0	31,00758	-0,07	75	54,9	31,37828
-0,02	80	47,4	31,02408	-0,07	80	55,7	31,41797
-0,02	85	47,7	31,04039	-0,07	85	56,5	31,45735
-0,02	90	48,1	31,05652	-0,07	90	57,2	31,49645
-0,02	95	48,5	31,07247	-0,07	95	58,0	31,53527
-0,02	100	48,8	31,08825	-0,07	100	58,7	31,57383
-0,02	105	49,2	31,10386	-0,07	105	59,4	31,61214
-0,02	110	49,5	31,11931	-0,07	110	60,1	31,65021
-0,02	115	49,8	31,1346	-0,07	115	60,8	31,68804
-0,02	120	50,2	31,14974	-0,07	120	61,5	31,72566
-0,02	125	50,5	31,16473	-0,07	125	62,1	31,76305
-0,02	130	50,8	31,17958	-0,07	130	62,8	31,80024
-0,02	135	51,1	31,19428	-0,07	135	63,4	31,83724
-0,02	140	51,4	31,20885	-0,07	140	64,1	31,87403
-0,02	145	51,8	31,22329	-0,07	145	64,7	31,91064
-0,02	150	52,1	31,2376	-0,07	150	65,3	31,94707
-0,02	155	52,4	31,25178	-0,07	155	65,9	31,98332
-0,02	160	52,6	31,26584	-0,07	160	66,5	32,0194
-0,02	165	52,9	31,27978	-0,07	165	67,1	32,05532
-0,02	170	53,2	31,29361	-0,07	170	67,7	32,09107
-0,02	175	53,5	31,30732	-0,07	175	68,2	32,12667
-0,02	180	53,8	31,32092	-0,07	180	68,8	32,16212
-0,02	185	54,1	31,33441	-0,07	185	69,4	32,19742
-0,02	190	54,3	31,34779	-0,07	190	69,9	32,23257
-0,02	195	54,6	31,36107	-0,07	195	70,5	32,26758
-0,02	200	54,9	31,37425	-0,07	200	71,0	32,30246
-0,02	205	55,1	31,38732	0	205	71,0	32,30013
-0,02	210	55,4	31,4003	0	210	70,9	32,29781
-0,02	215	55,6	31,41319	0	215	70,9	32,29549
-0,02	220	55,9	31,42598	0	220	70,9	32,29319
-0,02	225	56,1	31,43868	0	225	70,8	32,2909
-0,02	230	56,4	31,45129	0	230	70,8	32,28861
-0,02	235	56,6	31,46381	0	235	70,8	32,28633
-0,02	240	56,9	31,47624	0	240	70,7	32,28406
-0,02	245	57,1	31,48859	0	245	70,7	32,2818
-0,02	250	57,3	31,50085	0	250	70,6	32,27955
-0,02	255	57,6	31,51304	0	255	70,6	32,27731
-0,02	260	57,8	31,52514	0	260	70,6	32,27507
-0,02	265	58,0	31,53716	0	265	70,5	32,27284
-0,02	270	58,2	31,54911	0	270	70,5	32,27062
-0,02	275	58,5	31,56098	0	275	70,5	32,26841

-0,02	540	67,9	32,10546	0	540	68,8	32,16274
-0,02	545	68,0	32,11447	0	545	68,8	32,16095
-0,02	550	68,2	32,12345	0	550	68,8	32,15917
-0,02	555	68,3	32,13238	0	555	68,7	32,1574
-0,02	560	68,5	32,14128	0	560	68,7	32,15563
-0,02	565	68,6	32,15014	0	565	68,7	32,15387
-0,02	570	68,8	32,15897	0	570	68,6	32,15212
-0,02	575	68,9	32,16776	0	575	68,6	32,15037
-0,02	580	69,0	32,17651	0	580	68,6	32,14864
-0,02	585	69,2	32,18523	0	585	68,6	32,14691
-0,02	590	69,3	32,19392	0	590	68,5	32,14518
-0,02	595	69,4	32,20257	0	595	68,5	32,14346
-0,02	600	69,6	32,21118	0	600	68,5	32,14175
-0,02	605	69,7	32,21976	0	605	68,5	32,14005
-0,02	610	69,8	32,22831	0	610	68,4	32,13836
-0,02	615	70,0	32,23683	0	615	68,4	32,13667
-0,02	620	70,1	32,24531	0	620	68,4	32,13498
-0,02	625	70,2	32,25376	0	625	68,3	32,13331
-0,02	630	70,4	32,26217	0	630	68,3	32,13164
-0,02	635	70,5	32,27056	0	635	68,3	32,12998
-0,02	640	70,6	32,27891	0	640	68,3	32,12833
-0,02	645	70,8	32,28723	0	645	68,2	32,12668
-0,02	650	70,9	32,29552	0	650	68,2	32,12504
-0,02	655	71,0	32,30377	0	655	68,2	32,1234
-0,02	660	71,1	32,312	0	660	68,2	32,12177
-0,02	665	71,3	32,3202	0	665	68,1	32,12015
-0,02	670	71,4	32,32836	0	670	68,1	32,11854
-0,02	675	71,5	32,3365	0	675	68,1	32,11693
-0,02	680	71,6	32,3446	0	680	68,1	32,11533
-0,02	685	71,8	32,35268	0	685	68,0	32,11374
-0,02	690	71,9	32,36073	0	690	68,0	32,11215
-0,02	695	72,0	32,36874	0	695	68,0	32,11057
-0,02	700	72,1	32,37673	0	700	68,0	32,109
-0,02	705	72,3	32,38469	0	705	67,9	32,10743
-0,02	710	72,4	32,39262	0	710	67,9	32,10587
-0,02	715	72,5	32,40053	0	715	67,9	32,10431
-0,02	720	72,6	32,4084	0	720	67,9	32,10276
-0,02	725	72,7	32,41625	0	725	67,8	32,10122
-0,02	730	72,9	32,42407	0	730	67,8	32,09969
-0,02	735	73,0	32,43186	0	735	67,8	32,09816
-0,02	740	73,1	32,43963	0	740	67,8	32,09664
-0,02	745	73,2	32,44737	0	745	67,7	32,09512
-0,02	750	73,3	32,45508	0	750	67,7	32,09361
-0,02	755	73,4	32,46276	0	755	67,7	32,09211
-0,02	760	73,5	32,47042	0	760	67,7	32,09061
-0,02	765	73,7	32,47805	0	765	67,6	32,08912
-0,02	770	73,8	32,48566	0	770	67,6	32,08764
-0,02	775	73,9	32,49324	0	775	67,6	32,08616
-0,02	780	74,0	32,5008	0	780	67,6	32,08469
-0,02	785	74,1	32,50833	0	785	67,5	32,08322
-0,02	790	74,2	32,51583	0	790	67,5	32,08176
-0,02	795	74,3	32,52331	0	795	67,5	32,08031
-0,02	800	74,4	32,53076	0	800	67,5	32,07886

0,01	1065	76,8	32,69202	-0,04	1065	76,4	32,66669
0,01	1070	76,6	32,6831	-0,04	1070	76,7	32,68427
0,01	1075	76,5	32,67422	-0,04	1075	76,9	32,70179
0,01	1080	76,4	32,66536	-0,04	1080	77,2	32,71925
0,01	1085	76,3	32,65653	-0,04	1085	77,4	32,73666
0,01	1090	76,1	32,64773	-0,04	1090	77,7	32,75402
0,01	1095	76,0	32,63895	-0,04	1095	77,9	32,77133
0,01	1100	75,9	32,63021	-0,04	1100	78,1	32,78858
0,01	1105	75,8	32,62148	-0,04	1105	78,4	32,80579
0,01	1110	75,6	32,61279	-0,04	1110	78,6	32,82294
0,01	1115	75,5	32,60413	-0,04	1115	78,9	32,84005
0,01	1120	75,4	32,59549	-0,04	1120	79,1	32,8571
0,01	1125	75,3	32,58688	-0,04	1125	79,3	32,87411
0,01	1130	75,1	32,57829	-0,04	1130	79,6	32,89107
0,01	1135	75,0	32,56974	-0,04	1135	79,8	32,90798
0,01	1140	74,9	32,56121	-0,04	1140	80,0	32,92484
0,01	1145	74,8	32,55271	-0,04	1145	80,3	32,94165
0,01	1150	74,6	32,54424	-0,04	1150	80,5	32,95842
0,01	1155	74,5	32,53579	-0,04	1155	80,7	32,97514
0,01	1160	74,4	32,52738	-0,04	1160	80,9	32,99182
0,01	1165	74,3	32,51899	-0,04	1165	81,2	33,00845
0,01	1170	74,1	32,51063	-0,04	1170	81,4	33,02504
0,01	1175	74,0	32,50229	-0,04	1175	81,6	33,04158
0,01	1180	73,9	32,49399	-0,04	1180	81,8	33,05808
0,01	1185	73,8	32,48571	-0,04	1185	82,0	33,07454
0,01	1190	73,6	32,47746	-0,04	1190	82,3	33,09095
0,01	1195	73,5	32,46923	-0,04	1195	82,5	33,10732
0,01	1200	73,4	32,46104	-0,04	1200	82,7	33,12365
0,01	1205	73,3	32,45287	-0,04	1205	82,9	33,13993
0,01	1210	73,2	32,44474	-0,04	1210	83,1	33,15617
0,01	1215	73,0	32,43663	-0,04	1215	83,3	33,17238
0,01	1220	72,9	32,42854	-0,04	1220	83,6	33,18854
0,01	1225	72,8	32,42049	-0,04	1225	83,8	33,20466
0,01	1230	72,7	32,41246	-0,04	1230	84,0	33,22074
0,01	1235	72,6	32,40446	-0,04	1235	84,2	33,23678
0,01	1240	72,4	32,39649	-0,04	1240	84,4	33,25278
0,01	1245	72,3	32,38855	-0,04	1245	84,6	33,26874
0,01	1250	72,2	32,38064	-0,04	1250	84,8	33,28466
0,01	1255	72,1	32,37275	-0,04	1255	85,0	33,30055
0,01	1260	72,0	32,36489	-0,04	1260	85,2	33,3164
0,01	1265	71,8	32,35706	-0,04	1265	85,4	33,3322
0,01	1270	71,7	32,34926	-0,04	1270	85,6	33,34797
0,01	1275	71,6	32,34149	-0,04	1275	85,8	33,36371
0,01	1280	71,5	32,33374	-0,04	1280	86,0	33,3794
0,01	1285	71,4	32,32603	-0,04	1285	86,2	33,39506
0,01	1290	71,2	32,31834	-0,04	1290	86,4	33,41069
0,01	1295	71,1	32,31068	-0,04	1295	86,6	33,42627
0,01	1300	71,0	32,30305	-0,04	1300	86,8	33,44182
0,01	1305	70,9	32,29544	-0,04	1305	87,0	33,45734
0,01	1310	70,8	32,28787	-0,04	1310	87,2	33,47282
0,01	1315	70,7	32,28032	-0,04	1315	87,4	33,48826
0,01	1320	70,5	32,2728	-0,04	1320	87,6	33,50367
0,01	1325	70,4	32,26531	-0,04	1325	87,8	33,51905

0,01	1590	64,7	31,90915	-0,04	1590	96,9	34,29
0,01	1595	64,6	31,9032	-0,04	1595	97,1	34,30381
0,01	1600	64,5	31,89728	-0,04	1600	97,2	34,31759
0,01	1605	64,4	31,89138	-0,04	1605	97,4	34,33135
0,01	1610	64,3	31,88552	-0,04	1610	97,5	34,34508
0,01	1615	64,2	31,87968	-0,04	1615	97,7	34,35879
0,01	1620	64,1	31,87387	-0,04	1620	97,8	34,37247
0,01	1625	64,0	31,86809	-0,04	1625	98,0	34,38613
0,01	1630	63,9	31,86234	-0,04	1630	98,1	34,39977
0,01	1635	63,8	31,85662	-0,04	1635	98,3	34,41338
0,01	1640	63,7	31,85092	-0,04	1640	98,5	34,42697
0,01	1645	63,6	31,84525	-0,04	1645	98,6	34,44053
0,01	1650	63,5	31,83961	-0,04	1650	98,8	34,45407
0,01	1655	63,4	31,834	-0,04	1655	98,9	34,46759
0,01	1660	63,3	31,82842	-0,04	1660	99,1	34,48109
0,01	1665	63,2	31,82286	-0,04	1665	99,2	34,49456
0,01	1670	63,1	31,81734	-0,04	1670	99,3	34,50801
0,01	1675	63,0	31,81184	-0,04	1675	99,5	34,52143
0,01	1680	62,9	31,80637	-0,04	1680	99,6	34,53484
0,01	1685	62,8	31,80092	-0,04	1685	99,8	34,54822
0,01	1690	62,7	31,79551	-0,04	1690	99,9	34,56157
0,01	1695	62,6	31,79012	-0,04	1695	100,1	34,57491
0,01	1700	62,5	31,78476	-0,04	1700	100,2	34,58822
0,01	1705	62,4	31,77943	-0,04	1705	100,4	34,60151
0,01	1710	62,3	31,77412	-0,04	1710	100,5	34,61478
0,01	1715	62,2	31,76885	-0,04	1715	100,7	34,62803
0,01	1720	62,1	31,7636	-0,04	1720	100,8	34,64125
0,01	1725	62,0	31,75838	-0,04	1725	100,9	34,65445
0,01	1730	62,0	31,75319	-0,04	1730	101,1	34,66764
0,01	1735	61,9	31,74802	-0,04	1735	101,2	34,6808
0,01	1740	61,8	31,74288	-0,04	1740	101,4	34,69393
0,01	1745	61,7	31,73777	-0,04	1745	101,5	34,70705
0,01	1750	61,6	31,73269	-0,04	1750	101,7	34,72014
0,01	1755	61,5	31,72764	-0,04	1755	101,8	34,73322
0,01	1760	61,4	31,72261	-0,04	1760	101,9	34,74627
0,01	1765	61,3	31,71761	-0,04	1765	102,1	34,7593
0,01	1770	61,2	31,71263	-0,04	1770	102,2	34,77231
0,01	1775	61,1	31,70769	-0,04	1775	102,4	34,7853
0,01	1780	61,1	31,70277	-0,04	1780	102,5	34,79827
0,01	1785	61,0	31,69788	-0,04	1785	102,6	34,81122
0,01	1790	60,9	31,69302	-0,04	1790	102,8	34,82415
0,01	1795	60,8	31,68818	-0,04	1795	102,9	34,83705
0,01	1800	60,7	31,68337	-0,04	1800	103,0	34,84994
0,01	1805	60,6	31,67859	-0,04	1805	103,2	34,86281
0,01	1810	60,5	31,67383	-0,04	1810	103,3	34,87565
0,01	1815	60,5	31,6691	-0,04	1815	103,5	34,88848
0,01	1820	60,4	31,6644	-0,04	1820	103,6	34,90129
0,01	1825	60,3	31,65973	-0,04	1825	103,7	34,91407
0,01	1830	60,2	31,65508	-0,04	1830	103,9	34,92684
0,01	1835	60,1	31,65046	-0,04	1835	104,0	34,93958
0,01	1840	60,0	31,64586	-0,04	1840	104,1	34,95231
0,01	1845	59,9	31,64129	-0,04	1845	104,3	34,96502
0,01	1850	59,9	31,63675	-0,04	1850	104,4	34,9777

0,04	2115	43,4	30,86195	-0,01	2115	110,5	35,57651
0,04	2120	43,1	30,84866	-0,01	2120	110,5	35,57247
0,04	2125	42,8	30,83557	-0,01	2125	110,4	35,56843
0,04	2130	42,4	30,82266	-0,01	2130	110,4	35,5644
0,04	2135	42,1	30,80996	-0,01	2135	110,3	35,56038
0,04	2140	41,8	30,79745	-0,01	2140	110,3	35,55636
0,04	2145	41,5	30,78514	-0,01	2145	110,3	35,55235
0,04	2150	41,1	30,77304	-0,01	2150	110,2	35,54834
0,04	2155	40,8	30,76113	-0,01	2155	110,2	35,54434
0,04	2160	40,5	30,74943	-0,01	2160	110,1	35,54034
0,04	2165	40,2	30,73794	-0,01	2165	110,1	35,53635
0,04	2170	39,9	30,72664	-0,01	2170	110,1	35,53237
0,04	2175	39,6	30,71556	-0,01	2175	110,0	35,52839
0,04	2180	39,3	30,70468	-0,01	2180	110,0	35,52442
0,04	2185	39,0	30,69401	-0,01	2185	109,9	35,52045
0,04	2190	38,7	30,68355	-0,01	2190	109,9	35,51648
0,04	2195	38,4	30,6733	-0,01	2195	109,9	35,51253
0,04	2200	38,1	30,66325	-0,01	2200	109,8	35,50857
0,04	2205	37,8	30,65342	-0,01	2205	109,8	35,50463
0,04	2210	37,5	30,64379	-0,01	2210	109,7	35,50069
0,04	2215	37,3	30,63438	-0,01	2215	109,7	35,49675
0,04	2220	37,0	30,62517	-0,01	2220	109,7	35,49282
0,04	2225	36,7	30,61618	-0,01	2225	109,6	35,4889
0,04	2230	36,5	30,60739	-0,01	2230	109,6	35,48498
0,04	2235	36,2	30,59881	-0,01	2235	109,5	35,48107
0,04	2240	36,0	30,59044	-0,01	2240	109,5	35,47716
0,04	2245	35,7	30,58228	-0,01	2245	109,5	35,47325
0,04	2250	35,5	30,57432	-0,01	2250	109,4	35,46936
0,04	2255	35,2	30,56657	-0,01	2255	109,4	35,46547
0,04	2260	35,0	30,55902	-0,01	2260	109,4	35,46158
0,04	2265	34,8	30,55168	-0,01	2265	109,3	35,4577
0,04	2270	34,5	30,54454	-0,01	2270	109,3	35,45382
0,04	2275	34,3	30,53759	-0,01	2275	109,2	35,44995
0,04	2280	34,1	30,53085	-0,01	2280	109,2	35,44609
0,04	2285	33,9	30,52429	-0,01	2285	109,2	35,44223
0,04	2290	33,7	30,51794	-0,01	2290	109,1	35,43838
0,04	2295	33,5	30,51177	-0,01	2295	109,1	35,43453
0,04	2300	33,3	30,50579	-0,01	2300	109,0	35,43069
0,04	2305	33,1	30,5	-0,01	2305	109,0	35,42685
0,04	2310	32,9	30,49439	-0,01	2310	109,0	35,42302
0,04	2315	32,7	30,48896	-0,01	2315	108,9	35,41919
0,04	2320	32,5	30,48371	-0,01	2320	108,9	35,41537
0,04	2325	32,4	30,47864	-0,01	2325	108,9	35,41155
0,04	2330	32,2	30,47374	-0,01	2330	108,8	35,40774
0,04	2335	32,0	30,469	-0,01	2335	108,8	35,40394
0,04	2340	31,9	30,46443	-0,01	2340	108,7	35,40014
0,04	2345	31,7	30,46002	-0,01	2345	108,7	35,39634
0,04	2350	31,6	30,45577	-0,01	2350	108,7	35,39256
0,04	2355	31,4	30,45168	-0,01	2355	108,6	35,38877
0,04	2360	31,3	30,44773	-0,01	2360	108,6	35,38499
0,04	2365	31,2	30,44394	-0,01	2365	108,5	35,38122
0,04	2370	31,0	30,44029	-0,01	2370	108,5	35,37745
0,04	2375	30,9	30,43677	-0,01	2375	108,5	35,37369

0,04	2640	28,3	30,36687	-0,01	2640	106,5	35,18187
0,04	2645	28,3	30,36661	-0,01	2645	106,5	35,17839
0,04	2650	28,3	30,36635	-0,01	2650	106,4	35,17492
0,04	2655	28,3	30,36611	-0,01	2655	106,4	35,17145
0,04	2660	28,3	30,36589	-0,01	2660	106,4	35,16799
0,04	2665	28,3	30,36567	-0,01	2665	106,3	35,16453
0,04	2670	28,3	30,36546	-0,01	2670	106,3	35,16107
0,04	2675	28,3	30,36527	-0,01	2675	106,3	35,15763
0,04	2680	28,3	30,36508	-0,01	2680	106,2	35,15418
0,04	2685	28,3	30,36491	-0,01	2685	106,2	35,15075
0,04	2690	28,3	30,36474	-0,01	2690	106,2	35,14731
0,04	2695	28,3	30,36458	-0,01	2695	106,1	35,14389
0,04	2700	28,2	30,36443	-0,01	2700	106,1	35,14046
0,04	2705	28,2	30,36429	-0,01	2705	106,1	35,13705
0,04	2710	28,2	30,36416	-0,01	2710	106,0	35,13363
0,04	2715	28,2	30,36403	-0,01	2715	106,0	35,13023
0,04	2720	28,2	30,36391	-0,01	2720	105,9	35,12682
0,04	2725	28,2	30,36379	-0,01	2725	105,9	35,12343
0,04	2730	28,2	30,36368	-0,01	2730	105,9	35,12003
0,04	2735	28,2	30,36358	-0,01	2735	105,8	35,11665
0,04	2740	28,2	30,36348	-0,01	2740	105,8	35,11326
0,04	2745	28,2	30,36339	-0,01	2745	105,8	35,10989
0,04	2750	28,2	30,3633	-0,01	2750	105,7	35,10652
0,04	2755	28,2	30,36322	-0,01	2755	105,7	35,10315
0,04	2760	28,2	30,36314	-0,01	2760	105,7	35,09979
0,04	2765	28,2	30,36306	-0,01	2765	105,6	35,09643
0,04	2770	28,2	30,36299	-0,01	2770	105,6	35,09308
0,04	2775	28,2	30,36292	-0,01	2775	105,6	35,08973
0,04	2780	28,2	30,36286	-0,01	2780	105,5	35,08639
0,04	2785	28,2	30,36279	-0,01	2785	105,5	35,08305
0,04	2790	28,2	30,36274	-0,01	2790	105,5	35,07972
0,04	2795	28,2	30,36268	-0,01	2795	105,4	35,0764
0,04	2800	28,2	30,36263	-0,01	2800	105,4	35,07307
0,04	2805	28,2	30,36258	-0,01	2805	105,4	35,06976
0,04	2810	28,2	30,36253	-0,01	2810	105,3	35,06644
0,04	2815	28,2	30,36249	-0,01	2815	105,3	35,06314
0,04	2820	28,2	30,36245	-0,01	2820	105,3	35,05984
0,04	2825	28,2	30,36241	-0,01	2825	105,2	35,05654
0,04	2830	28,2	30,36237	-0,01	2830	105,2	35,05325
0,04	2835	28,2	30,36233	-0,01	2835	105,2	35,04996
0,04	2840	28,2	30,3623	-0,01	2840	105,1	35,04668
0,04	2845	28,2	30,36227	-0,01	2845	105,1	35,0434
0,04	2850	28,2	30,36224	-0,01	2850	105,0	35,04013
0,04	2855	28,2	30,36221	-0,01	2855	105,0	35,03686
0,04	2860	28,2	30,36218	-0,01	2860	105,0	35,0336
0,04	2865	28,2	30,36215	-0,01	2865	104,9	35,03034
0,04	2870	28,2	30,36213	-0,01	2870	104,9	35,02709
0,04	2875	28,2	30,36211	-0,01	2875	104,9	35,02384
0,04	2880	28,2	30,36208	-0,01	2880	104,8	35,0206
0,04	2885	28,2	30,36206	-0,01	2885	104,8	35,01736
0,04	2890	28,2	30,36204	-0,01	2890	104,8	35,01413
0,04	2895	28,2	30,36202	-0,01	2895	104,7	35,0109
0,04	2900	28,2	30,362	-0,01	2900	104,7	35,00768

0	3165	35,7	30,58051	0,02	3165	97,4	34,33526
0	3170	36,1	30,59376	0,02	3170	97,2	34,31733
0	3175	36,4	30,60666	0,02	3175	97,0	34,29943
0	3180	36,8	30,61924	0,02	3180	96,8	34,28156
0	3185	37,2	30,63152	0,02	3185	96,6	34,26373
0	3190	37,5	30,64352	0,02	3190	96,4	34,24592
0	3195	37,9	30,65523	0,02	3195	96,2	34,22815
0	3200	38,2	30,66669	0,02	3200	96,0	34,21041
0	3205	38,5	30,67791	0,02	3205	95,8	34,1927
0	3210	38,8	30,68888	0,02	3210	95,6	34,17503
0	3215	39,1	30,69963	0,02	3215	95,4	34,15739
0	3220	39,4	30,71017	0,02	3220	95,2	34,13978
0	3225	39,7	30,7205	0,02	3225	95,0	34,1222
0	3230	40,0	30,73063	0,02	3230	94,8	34,10466
0	3235	40,3	30,74057	0,02	3235	94,6	34,08715
0	3240	40,5	30,75033	0,02	3240	94,4	34,06967
0	3245	40,8	30,75991	0,02	3245	94,2	34,05222
0	3250	41,0	30,76932	0,02	3250	94,0	34,03481
0	3255	41,3	30,77857	0,02	3255	93,8	34,01743
0	3260	41,5	30,78767	0,02	3260	93,6	34,00008
0	3265	41,8	30,7966	0,02	3265	93,4	33,98277
0	3270	42,0	30,8054	0,02	3270	93,2	33,96549
0	3275	42,2	30,81405	0,02	3275	93,0	33,94824
0	3280	42,4	30,82256	0,02	3280	92,8	33,93103
0	3285	42,7	30,83093	0,02	3285	92,6	33,91385
0	3290	42,9	30,83918	0,02	3290	92,4	33,89671
0	3295	43,1	30,8473	0,02	3295	92,2	33,87959
0	3300	43,3	30,8553	0,02	3300	92,0	33,86252
0	3305	43,5	30,86318	0,02	3305	91,8	33,84547
0	3310	43,7	30,87095	0,02	3310	91,6	33,82846
0	3315	43,9	30,8786	0,02	3315	91,4	33,81149
0	3320	44,0	30,88615	0,02	3320	91,1	33,79455
0	3325	44,2	30,89359	0,02	3325	90,9	33,77764
0	3330	44,4	30,90092	0,02	3330	90,7	33,76077
0	3335	44,6	30,90815	0,02	3335	90,5	33,74393
0	3340	44,8	30,91529	0,02	3340	90,3	33,72713
0	3345	44,9	30,92233	0,02	3345	90,1	33,71036
0	3350	45,1	30,92928	0,02	3350	89,9	33,69363
0	3355	45,3	30,93613	0,02	3355	89,7	33,67693
0	3360	45,4	30,9429	0,02	3360	89,5	33,66027
0	3365	45,6	30,94958	0,02	3365	89,3	33,64364
0	3370	45,8	30,95617	0,02	3370	89,1	33,62705
0	3375	45,9	30,96268	0,02	3375	88,9	33,6105
0	3380	46,1	30,96911	0,02	3380	88,7	33,59398
0	3385	46,2	30,97546	0,02	3385	88,5	33,57749
0	3390	46,4	30,98174	0,02	3390	88,3	33,56104
0	3395	46,5	30,98794	0,02	3395	88,1	33,54463
0	3400	46,7	30,99406	0,02	3400	87,9	33,52825
0	3405	46,8	31,00011	0,02	3405	87,7	33,51191
0	3410	46,9	31,00609	0,02	3410	87,5	33,49561
0	3415	47,1	31,012	0,02	3415	87,3	33,47934
0	3420	47,2	31,01784	0,02	3420	87,1	33,46311
0	3425	47,3	31,02361	0,02	3425	86,9	33,44691

0	3690	52,5	31,25832	0,02	3690	76,1	32,64418
0	3695	52,6	31,26174	0,02	3695	75,9	32,63015
0	3700	52,6	31,26512	0,02	3700	75,7	32,61616
0	3705	52,7	31,26848	0,02	3705	75,5	32,60222
0	3710	52,8	31,27181	0,02	3710	75,3	32,58832
0	3715	52,8	31,27511	0,02	3715	75,1	32,57447
0	3720	52,9	31,27838	0,02	3720	74,9	32,56066
0	3725	53,0	31,28163	0,02	3725	74,7	32,54689
0	3730	53,0	31,28485	0,02	3730	74,5	32,53317
0	3735	53,1	31,28804	0,02	3735	74,3	32,5195
0	3740	53,2	31,2912	0,02	3740	74,1	32,50587
0	3745	53,2	31,29435	0,02	3745	73,9	32,49229
0	3750	53,3	31,29746	0,02	3750	73,7	32,47875
0	3755	53,4	31,30055	0,02	3755	73,5	32,46526
0	3760	53,4	31,30362	0,02	3760	73,3	32,45181
0	3765	53,5	31,30666	0,02	3765	73,1	32,43841
0	3770	53,5	31,30967	0,02	3770	72,9	32,42506
0	3775	53,6	31,31266	0,02	3775	72,7	32,41175
0	3780	53,7	31,31563	0,02	3780	72,5	32,39849
0	3785	53,7	31,31858	0,02	3785	72,3	32,38527
0	3790	53,8	31,3215	0,02	3790	72,1	32,3721
0	3795	53,8	31,32439	0,02	3795	71,9	32,35898
0	3800	53,9	31,32727	0,02	3800	71,7	32,34591
0,07	3805	53,2	31,2934	0,02	3805	71,5	32,33288
0,07	3810	52,5	31,2598	0,02	3810	71,3	32,3199
0,07	3815	51,8	31,22648	0,02	3815	71,1	32,30697
0,07	3820	51,1	31,19345	0,02	3820	70,9	32,29409
0,07	3825	50,4	31,16072	0,02	3825	70,7	32,28125
0,07	3830	49,7	31,12829	0,02	3830	70,5	32,26847
0,07	3835	49,0	31,09617	0,02	3835	70,3	32,25573
0,07	3840	48,3	31,06439	0,02	3840	70,1	32,24304
0,07	3845	47,6	31,03293	0,02	3845	69,9	32,23039
0,07	3850	46,8	31,00182	0,02	3850	69,7	32,2178
0,07	3855	46,1	30,97107	0,02	3855	69,5	32,20526
0,07	3860	45,4	30,94069	0,02	3860	69,3	32,19276
0,07	3865	44,7	30,91069	0,02	3865	69,1	32,18032
0,07	3870	43,9	30,88108	0,02	3870	68,9	32,16792
0,07	3875	43,2	30,85188	0,02	3875	68,7	32,15557
0,07	3880	42,5	30,8231	0,02	3880	68,5	32,14328
0,07	3885	41,7	30,79475	0,02	3885	68,3	32,13103
0,07	3890	41,0	30,76686	0,02	3890	68,1	32,11883
0,07	3895	40,2	30,73943	0,02	3895	67,9	32,10669
0,07	3900	39,5	30,71249	0,02	3900	67,7	32,09459
0,07	3905	38,8	30,68604	0,02	3905	67,5	32,08255
0,07	3910	38,0	30,66012	0,02	3910	67,3	32,07055
0,07	3915	37,3	30,63473	0,02	3915	67,1	32,05861
0,07	3920	36,5	30,6099	0,02	3920	66,9	32,04672
0,07	3925	35,8	30,58565	0,02	3925	66,7	32,03488
0,07	3930	35,1	30,56199	0,02	3930	66,6	32,02309
0,07	3935	34,4	30,53895	0,02	3935	66,4	32,01135
0,07	3940	33,6	30,51655	0,02	3940	66,2	31,99967
0,07	3945	32,9	30,49481	0,02	3945	66,0	31,98804
0,07	3950	32,2	30,47375	0,02	3950	65,8	31,97645

Svolgimento

La distanza di arresto d_a è data dalla somma della distanza di percezione-reazione d_{pr} e della distanza di frenatura d_f .

Mentre la distanza di percezione-reazione d_{pr} si ricava come prodotto della velocità per il tempo di percezione-reazione

$$t_{pr} = 2.8 - 0.01 V,$$

la distanza di frenatura si ricava dall'equazione della trazione, dato lo schema di riferimento della ruota frenata, che vede la trazione nulla, l'intervento del momento frenante e il peso uguale al peso aderente.

$$d_a = \frac{v^2}{2g[f_e(v) \pm i]} \qquad f_e(v) = \frac{f_{a,L} + r_R}{\beta} + \frac{\frac{1}{2} \delta * c * S * v^2}{P_a * \beta}$$

Si riportano di seguito i risultati calcolati e le relative formule adoperate. (tra parentesi si riportano i valori ricavati da abaco).

V [km/h]	t _{pr} [s]	d _{pr} [m]	f _e (v) [-]	d _{f,+3%} [m]	d _{f,-4%} [m]	d _{a,+3%} [m]	d _{a,-4%} [m]
80	2	44.4	0.31	74.05	93.24	118.45 (105.4)	137.64 (119.1)
100	1.8	50	0.28	126.90	163.91	176.9 (155)	214.9 (177)
120	1.6	53.3	0.24	209.8	283.2	259.8 (220)	333.2 (260)

$$P = P_a = m * g = 1250 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 12258.75 \text{ N}$$

$$t_{pr} = 2.8 - 0.01 V$$

$$d_{pr} = V/3.6 \cdot t_{pr}$$

$$f_e = \frac{f_{a,L} + r_R}{\beta} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \delta \cdot C \cdot S \cdot v^2}{\beta \cdot P_a}$$

$$d_{f,+3\%} = \frac{v^2}{2g \cdot (f_e \pm i)}$$

$$d_{f,-4\%} = \frac{v^2}{2g \cdot (f_e \pm i)}$$

$$d_{a,+3\%} = d_{pr} + d_{f,+3\%}$$

$$d_{a,-4\%} = d_{pr} + d_{f,-4\%}$$

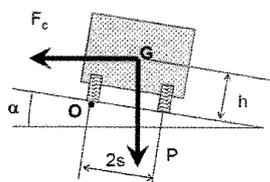
Esercizio 2 – Progetto di curve stradali

Calcolare il più piccolo raggio di una curva circolare con pendenza trasversale pari al 7% in grado di garantire l'equilibrio di un veicolo che la percorre a 70 km/h. Determinare inoltre per la medesima pendenza la velocità di percorrenza di una curva di raggio 330 m. Nel dimensionamento, si adottino i valori di aderenza trasversale fissati dalla normativa italiana.

Velocità km/h	25	40	60	80	100	120	140
aderenza trasv. max imp. $f_{a, max}$ per strade tipo A, B, C, F extra urbane, e relative strade di servizio	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
aderenza trasv. max imp. $f_{a, max}$ per strade tipo D, E, F urbane, e relative strade di servizio	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

Svolgimento

L'esercizio si risolve ricorrendo all'equazione che regola l'equilibrio allo strisciamento nel moto in curva:



$$\sum F_{//} \leq f_{a,t} \cdot \sum F_{\perp} \rightarrow \frac{v^2}{R} \leq g(f_{a,t} + \tan \alpha)$$

Dove il coefficiente di aderenza trasversale si ricava osservando la tabella fornita nella consegna: $f_{a,t} \left(70 \frac{km}{h} \right) = \frac{0,17+0,13}{2} = 0,15$

Data la velocità di percorrenza V, si ricava il **raggio minimo** R_{min} :

$$R_{min} = \frac{V^2}{g(tg \alpha + f_{a,t})} = \frac{\left(\frac{70}{3,6} \right)^2}{9,81 (0,07 + 0,15)} = 175,2 \text{ m}$$

Dato il raggio di percorrenza invece si ottiene la **massima velocità V**, operando diverse iterazioni, essendo il coefficiente di aderenza trasversale determinato solo a patto che sia nota la velocità.

$$V = \sqrt{Rg(tg \alpha + f_{a,t})}$$

Ipotizzo $f_{a,t} = 0,11 \rightarrow V = 100 \frac{km}{h}$

$$V = \sqrt{Rg(tg \alpha + f_{a,t})} = \sqrt{330 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} (0,07 + 0,11)} = 24,14 \text{ m} = 86,9 \frac{km}{h}$$

Ipotizzo $f_{a,t} = 0,123 \rightarrow V = 87 \frac{km}{h}$

$$V = \sqrt{Rg(tg \alpha + f_{a,t})} = \sqrt{330 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} (0,07 + 0,123)} = 24,99 \text{ m} = 90 \frac{km}{h}$$

Ipotizzo $f_{a,t} = 0,12 \rightarrow V = 90 \frac{km}{h}$

$$V = \sqrt{Rg(tg \alpha + f_{a,t})} = \sqrt{330 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} (0,07 + 0,12)} = 24,80 \text{ m} = 89,3 \frac{km}{h}$$

Il risultato che si ricava di V è circa uguale al valore cui corrisponde il relativo $f_{a,t}$, quindi il risultato corretto sarà circa $V = 89,3 \frac{km}{h}$.

Esercizio 4 – *Orientamento di una pista di volo*

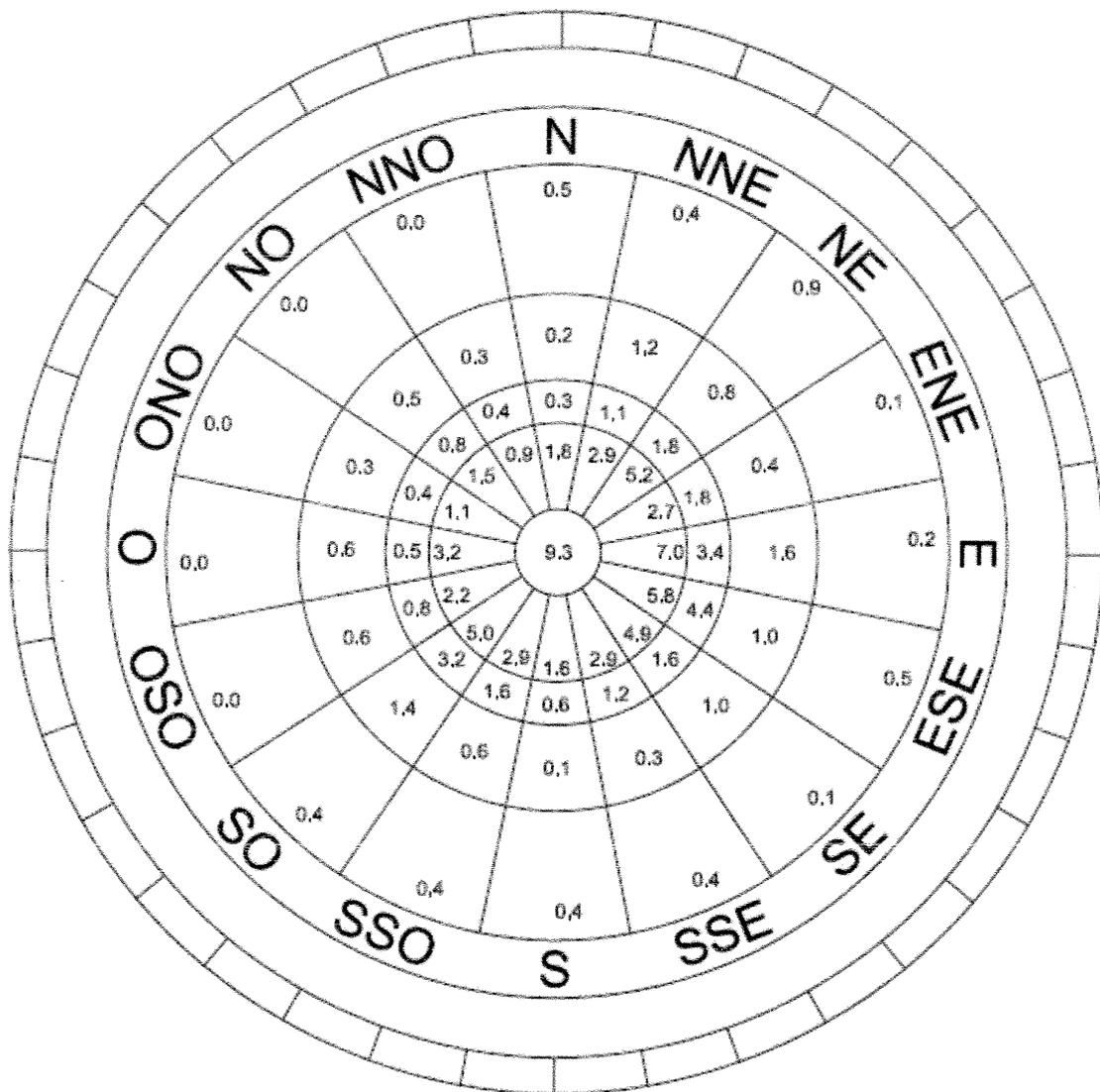
Individuare l'orientamento della pista di volo di un aeroporto avente i dati sui venti riportati in *Tabella 1* e considerando un valore limite del vento trasversale pari a 24 km/h.

Nel caso in cui non sia rispettata la limitazione stabilita dall'ICAO sulla percentuale di utilizzo della pista principale (96%) individuare l'orientamento della pista ausiliaria nonché la percentuale di operatività complessiva dello scalo nell'ipotesi di costruzione di entrambe le piste.

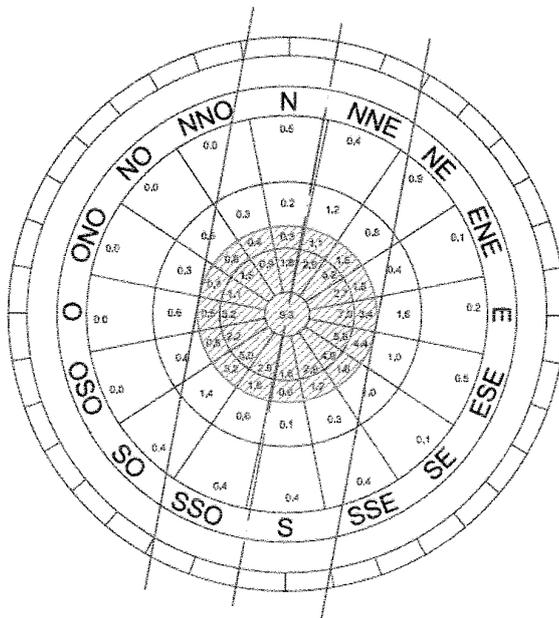
Direzione del vento	Frequenza [%]				Totale %
	6 ÷ 18 km/h	18 ÷ 24 km/h	24 ÷ 36 km/h	36 ÷ 54 km/h	
N	1,8	0,3	0,2	0,5	2,4
NNE	2,9	1,1	1,2	0,4	5,3
NE	5,2	1,8	0,8	0,9	8,4
ENE	2,7	1,8	0,4	0,1	5,0
E	7,0	3,4	1,6	0,2	12,3
ESE	5,8	4,4	1,0	0,5	11,7
SE	4,9	1,6	1,0	0,1	7,6
SSE	2,9	1,2	0,3	0,4	5,4
S	1,6	0,6	0,1	0,4	2,4
SSO	2,9	1,6	0,6	0,4	6,0
SO	5,0	3,2	1,4	0,4	10,3
OSO	2,2	0,8	0,6	0,0	3,1
O	3,2	0,5	0,6	0,0	4,5
ONO	1,1	0,4	0,3	0,0	1,9
NO	1,5	0,8	0,5	0,0	2,8
NNO	0,9	0,4	0,3	0,0	1,6
Calma					9,3

Tabella 1: Intensità e distribuzione percentuale dei venti nell'area aeroportuale

N.B. I fattori moltiplicativi delle aree sono stati determinati con il comando Area di Autocad eseguendo poi una semplice divisione tra area considerata e area totale dello "spicchio".

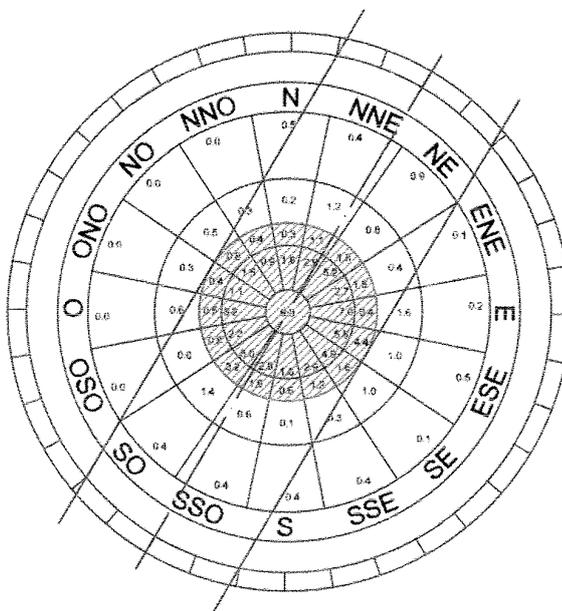


Direzione 1/19



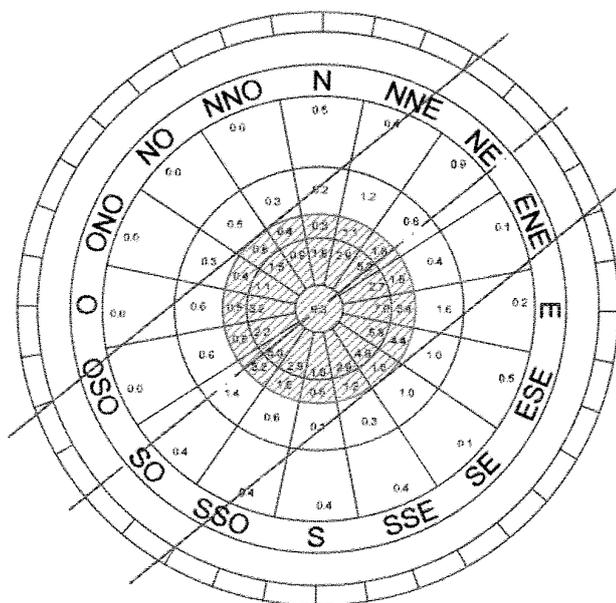
Direzione	6--18	18--24	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	1,00	<u>0,20</u>	0,50	1,00	<u>0,50</u>	2,8
NNE	2,9	1,1	1,20	1,00	<u>1,20</u>	0,40	1,00	<u>0,40</u>	5,6
NE	5,2	1,8	0,80	0,97	<u>0,78</u>	0,90	0,38	<u>0,34</u>	8,1
ENE	2,7	1,8	0,40	0,36	<u>0,14</u>	0,10			4,6
E	7,0	3,4	1,60	0,04	<u>0,06</u>	0,20			10,5
ESE	5,8	4,4	1,00	0,05	<u>0,05</u>	0,50			10,3
SE	4,9	1,6	1,00	0,43	<u>0,43</u>	0,10			6,9
SSE	2,9	1,2	0,30	0,99	<u>0,30</u>	0,40	0,49	<u>0,20</u>	4,6
S	1,6	0,6	0,10	1,00	<u>0,10</u>	0,40	1,00	<u>0,40</u>	2,7
SSO	2,9	1,6	0,60	1,00	<u>0,60</u>	0,40	1,00	<u>0,40</u>	5,5
SO	5,0	3,2	1,40	0,97	<u>1,36</u>	0,40	0,38	<u>0,15</u>	9,7
OSO	2,2	0,8	0,60	0,36	<u>0,22</u>	0,00			3,2
O	3,2	0,5	0,60	0,04	<u>0,02</u>	0,00			3,7
ONO	1,1	0,4	0,30	0,05	<u>0,02</u>	0,00			1,5
NO	1,5	0,8	0,50	0,43	<u>0,22</u>	0,00			2,5
NNO	0,9	0,4	0,30	0,99	<u>0,30</u>	0,00	0,49	<u>0,00</u>	1,6
Calma									9,3
Totale	51,6	23,9							93,2

Direzione 3/21



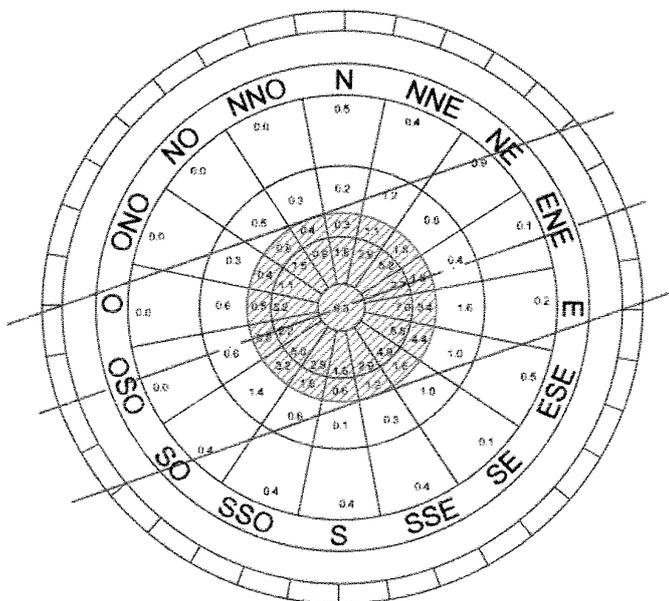
Direzione	6--18	18--24	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	1,00	0,20	0,50	0,60	0,30	2,6
NNE	2,9	1,1	1,20	1,00	1,20	0,40	1,00	0,40	5,6
NE	5,2	1,8	0,80	1,00	0,80	0,90	1,00	0,90	8,7
ENE	2,7	1,8	0,40	0,94	0,38	0,10	0,27	0,03	4,9
E	7,0	3,4	1,60	0,30	0,48	0,20			10,9
ESE	5,8	4,4	1,00	0,02	0,02	0,50			10,2
SE	4,9	1,6	1,00	0,07	0,07	0,10			6,6
SSE	2,9	1,2	0,30	0,52	0,16	0,40	0,00	0,00	4,3
S	1,6	0,6	0,10	1,00	0,10	0,40	0,60	0,24	2,5
SSO	2,9	1,6	0,60	1,00	0,60	0,40	1,00	0,40	5,5
SO	5,0	3,2	1,40	1,00	1,40	0,40	1,00	0,40	10,0
OSO	2,2	0,8	0,60	0,94	0,56	0,00	0,27	0,00	3,6
O	3,2	0,5	0,60	0,30	0,18	0,00			3,9
ONO	1,1	0,4	0,30	0,02	0,01	0,00			1,5
NO	1,5	0,8	0,50	0,07	0,04	0,00			2,3
NNO	0,9	0,4	0,30	0,52	0,16	0,00	0,00	0,00	1,5
Calma									9,3
Totale	51,6	23,9							93,8

Direzione 5/23



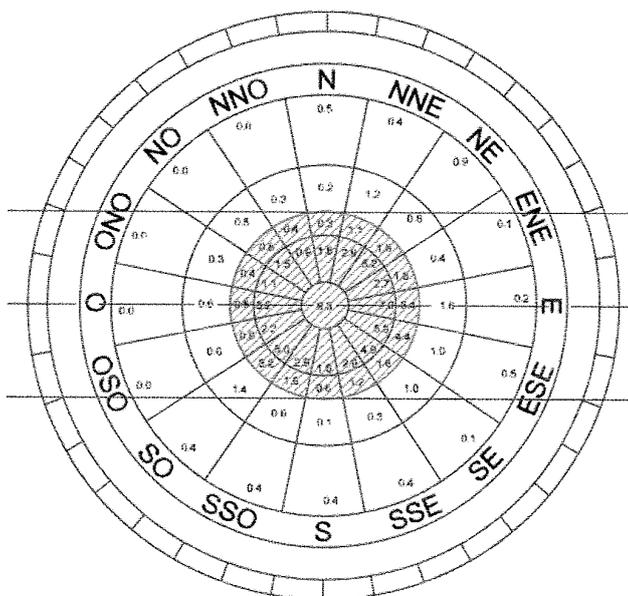
Direzione	6--18	18--24	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	0,61	0,12	0,50	0,01	0,01	2,2
NNE	2,9	1,1	1,20	1,00	1,20	0,40	0,71	0,28	5,5
NE	5,2	1,8	0,80	1,00	0,80	0,90	1,00	0,90	8,7
ENE	2,7	1,8	0,40	1,00	0,40	0,10	0,99	0,10	5,0
E	7,0	3,4	1,60	0,89	1,42	0,20	0,17	0,03	11,9
ESE	5,8	4,4	1,00	0,24	0,24	0,50			10,4
SE	4,9	1,6	1,00	0,02	0,02	0,10			6,5
SSE	2,9	1,2	0,30	0,09	0,03	0,40			4,1
S	1,6	0,6	0,10	0,61	0,06	0,40	0,01	0,00	2,3
SSO	2,9	1,6	0,60	1,00	0,60	0,40	0,71	0,28	5,4
SO	5,0	3,2	1,40	1,00	1,40	0,40	1,00	0,40	10,0
OSO	2,2	0,8	0,60	1,00	0,60	0,00	0,99	0,00	3,6
O	3,2	0,5	0,60	0,89	0,53	0,00	0,17	0,00	4,2
ONO	1,1	0,4	0,30	0,24	0,07	0,00			1,6
NO	1,5	0,8	0,50	0,02	0,01	0,00			2,3
NNO	0,9	0,4	0,30	0,09	0,03	0,00			1,3
Calma									9,3
Totale	51,6	23,9							94,3

Direzione 7/25



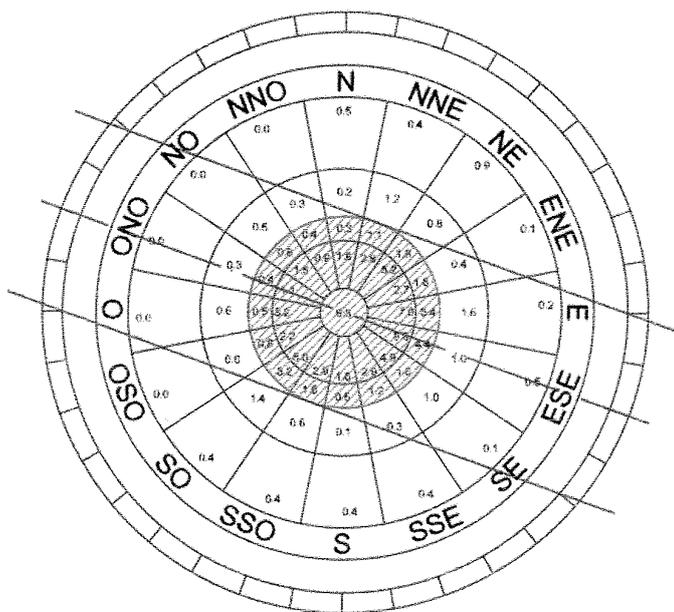
Direzione	6-18	18-24	24-36	Fattore area		36-54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	0,12	0,02	0,50			2,1
NNE	2,9	1,1	1,20	0,69	0,83	0,40	0,02	0,01	4,8
NE	5,2	1,8	0,80	1,00	0,80	0,90	0,80	0,72	8,5
ENE	2,7	1,8	0,40	1,00	0,40	0,10	1,00	0,10	5,0
E	7,0	3,4	1,60	1,00	1,60	0,20	0,94	0,19	12,2
ESE	5,8	4,4	1,00	0,83	0,83	0,50	0,10	0,05	11,1
SE	4,9	1,6	1,00	0,20	0,20	0,10			6,7
SSE	2,9	1,2	0,30	0,01	0,00	0,40			4,1
S	1,6	0,6	0,10	0,12	0,01	0,40			2,2
SSO	2,9	1,6	0,60	0,69	0,41	0,40	0,02	0,01	4,9
SO	5,0	3,2	1,40	1,00	1,40	0,40	0,80	0,32	9,9
OSO	2,2	0,8	0,60	1,00	0,60	0,00	1,00	0,00	3,6
O	3,2	0,5	0,60	1,00	0,60	0,00	0,94	0,00	4,3
ONO	1,1	0,4	0,30	0,83	0,25	0,00	0,10	0,00	1,7
NO	1,5	0,8	0,50	0,20	0,10	0,00			2,4
NNO	0,9	0,4	0,30	0,01	0,00	0,00			1,3
Calma									9,3
Totale	51,6	23,9							94,3

Direzione 9/27



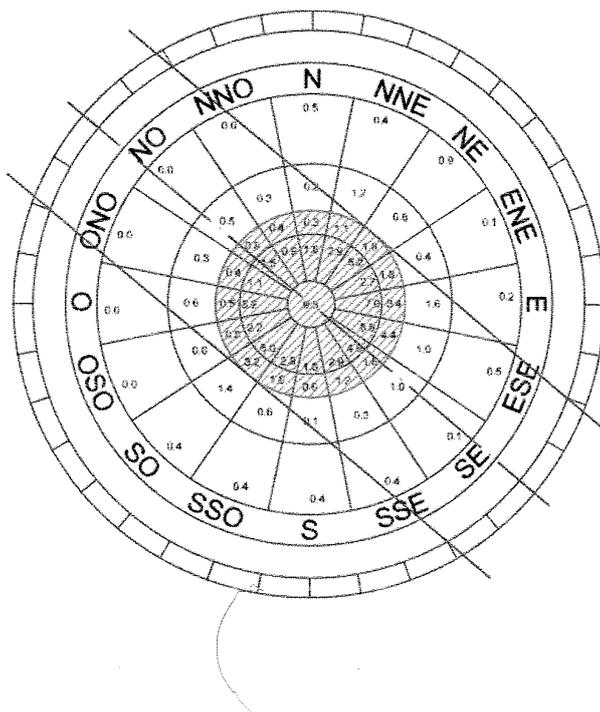
Direzione	6--18	18--24	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	0,01	<u>0,00</u>	0,50			2,1
NNE	2,9	1,1	1,20	0,16	<u>0,19</u>	0,40			4,2
NE	5,2	1,8	0,80	0,76	<u>0,61</u>	0,90	0,06	<u>0,05</u>	7,7
ENE	2,7	1,8	0,40	1,00	<u>0,40</u>	0,10	0,88	<u>0,09</u>	5,0
E	7,0	3,4	1,60	1,00	<u>1,60</u>	0,20	1,00	<u>0,20</u>	12,2
ESE	5,8	4,4	1,00	1,00	<u>1,00</u>	0,50	0,88	<u>0,44</u>	11,6
SE	4,9	1,6	1,00	0,76	<u>0,76</u>	0,10	0,06	<u>0,01</u>	7,3
SSE	2,9	1,2	0,30	0,16	<u>0,05</u>	0,40			4,1
S	1,6	0,6	0,10	0,01	<u>0,00</u>	0,40			2,2
SSO	2,9	1,6	0,60	0,16	<u>0,10</u>	0,40			4,6
SO	5,0	3,2	1,40	0,76	<u>1,06</u>	0,40	0,06	<u>0,02</u>	9,3
OSO	2,2	0,8	0,60	1,00	<u>0,60</u>	0,00	0,88	<u>0,00</u>	3,6
O	3,2	0,5	0,60	1,00	<u>0,60</u>	0,00	1,00	<u>0,00</u>	4,3
ONO	1,1	0,4	0,30	1,00	<u>0,30</u>	0,00	0,88	<u>0,00</u>	1,8
NO	1,5	0,8	0,50	0,76	<u>0,38</u>	0,00	0,06	<u>0,00</u>	2,7
NNO	0,9	0,4	0,30	0,16	<u>0,05</u>	0,00			1,3
Calma									<u>9,3</u>
Totale	51,6	23,9							93,3

Direzione 11/29



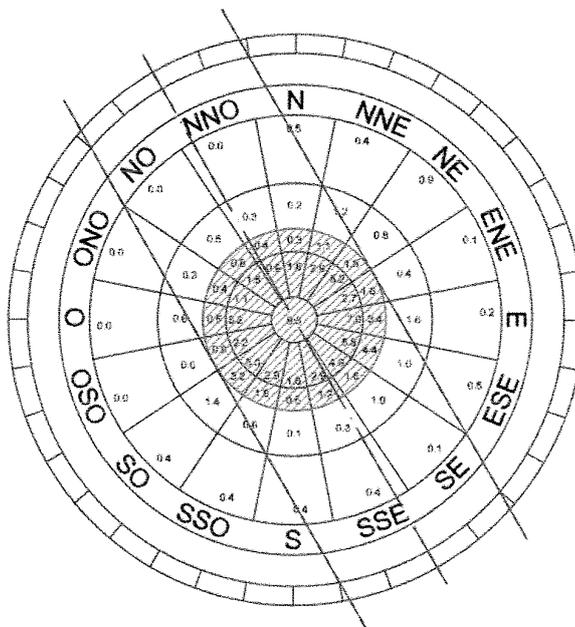
Direzione	6-18	18-24	24-36	Fattore area		36-54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	0,12	0,02	0,50			2,1
NNE	2,9	1,1	1,20	0,01	0,01	0,40			4,0
NE	5,2	1,8	0,80	0,20	0,16	0,90			7,2
ENE	2,7	1,8	0,40	0,83	0,33	0,10	0,10	0,01	4,8
E	7,0	3,4	1,60	1,00	1,60	0,20	0,94	0,19	12,2
ESE	5,8	4,4	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	11,7
SE	4,9	1,6	1,00	1,00	1,00	0,10	0,80	0,08	7,6
SSE	2,9	1,2	0,30	0,69	0,21	0,40	0,02	0,01	4,3
S	1,6	0,6	0,10	0,12	0,01	0,40			2,2
SSO	2,9	1,6	0,60	0,01	0,01	0,40			4,5
SO	5,0	3,2	1,40	0,20	0,28	0,40			8,5
OSO	2,2	0,8	0,60	0,83	0,50	0,00	0,10	0,00	3,5
O	3,2	0,5	0,60	1,00	0,60	0,00	0,94	0,00	4,3
ONO	1,1	0,4	0,30	1,00	0,30	0,00	1,00	0,00	1,8
NO	1,5	0,8	0,50	1,00	0,50	0,00	0,80	0,00	2,8
NNO	0,9	0,4	0,30	0,69	0,21	0,00	0,02	0,00	1,5
Calma									9,3
Totale	51,6	23,9							92,3

Direzione 13/31



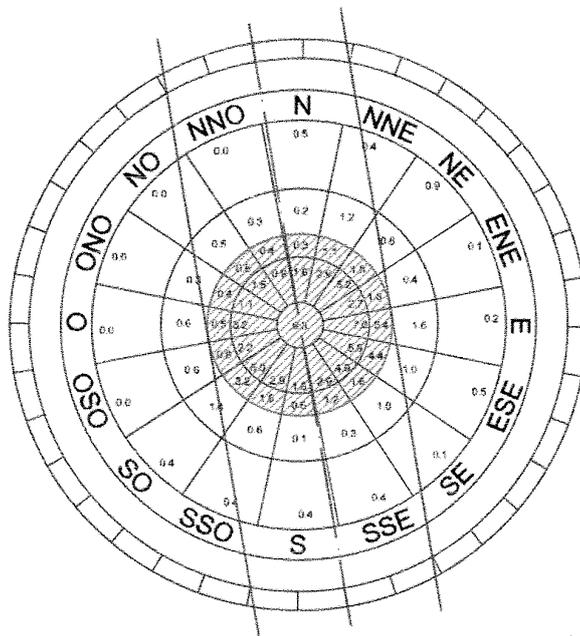
Direzione	6--18	18--24	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	0,61	0,12	0,50	0,01	0,01	2,2
NNE	2,9	1,1	1,20	0,09	0,11	0,40			4,1
NE	5,2	1,8	0,80	0,02	0,02	0,90			7,0
ENE	2,7	1,8	0,40	0,24	0,10	0,10			4,6
E	7,0	3,4	1,60	0,89	1,42	0,20	0,17	0,03	11,9
ESE	5,8	4,4	1,00	1,00	1,00	0,50	0,99	0,50	11,7
SE	4,9	1,6	1,00	1,00	1,00	0,10	1,00	0,10	7,6
SSE	2,9	1,2	0,30	1,00	0,30	0,40	0,71	0,28	4,7
S	1,6	0,6	0,10	0,61	0,06	0,40	0,01	0,00	2,3
SSO	2,9	1,6	0,60	0,09	0,05	0,40			4,6
SO	5,0	3,2	1,40	0,02	0,03	0,40			8,2
OSO	2,2	0,8	0,60	0,24	0,14	0,00			3,1
O	3,2	0,5	0,60	0,89	0,53	0,00	0,17	0,00	4,2
ONO	1,1	0,4	0,30	1,00	0,30	0,00	0,99	0,00	1,8
NO	1,5	0,8	0,50	1,00	0,50	0,00	1,00	0,00	2,8
NNO	0,9	0,4	0,30	1,00	0,30	0,00	0,71	0,00	1,6
Calma									9,3
Totale	51,6	23,9							91,7

Direzione 15/33



Direzione	6--18	18--24	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	1,00	0,20	0,50	0,60	0,30	2,6
NNE	2,9	1,1	1,20	0,52	0,62	0,40	0,00		4,6
NE	5,2	1,8	0,80	0,07	0,06	0,90			7,1
ENE	2,7	1,8	0,40	0,03	0,01	0,10			4,5
E	7,0	3,4	1,60	0,30	0,48	0,20			10,9
ESE	5,8	4,4	1,00	0,94	0,94	0,50	0,27	0,14	11,3
SE	4,9	1,6	1,00	1,00	1,00	0,10	1,00	0,10	7,6
SSE	2,9	1,2	0,30	1,00	0,30	0,40	1,00	0,40	4,8
S	1,6	0,6	0,10	1,00	0,10	0,40	0,60	0,24	2,5
SSO	2,9	1,6	0,60	0,52	0,31	0,40			4,8
SO	5,0	3,2	1,40	0,07	0,10	0,40			8,3
OSO	2,2	0,8	0,60	0,03	0,02	0,00			3,0
O	3,2	0,5	0,60	0,30	0,18	0,00			3,9
ONO	1,1	0,4	0,30	0,94	0,28	0,00	0,27	0,00	1,8
NO	1,5	0,8	0,50	1,00	0,50	0,00	1,00	0,00	2,8
NNO	0,9	0,4	0,30	1,00	0,30	0,00	1,00	0,00	1,6
Calma									9,3
Totale	51,6	23,9							91,4

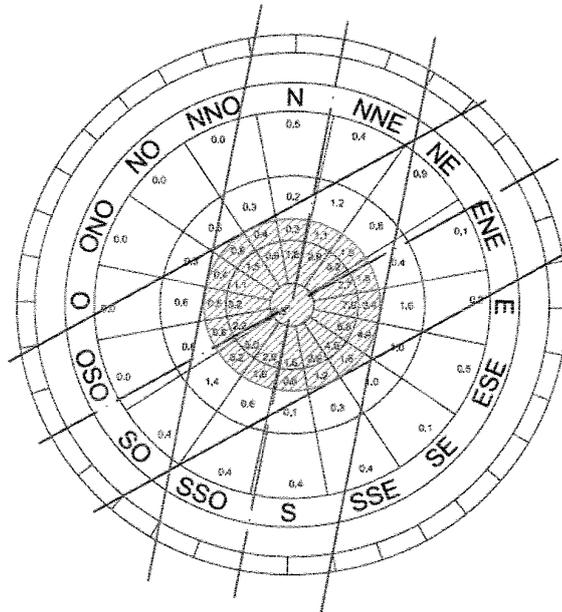
Direzione 17/35



Direzione	6--18	18--24	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	1,00	0,20	0,50	1,00	0,50	2,8
NNE	2,9	1,1	1,20	0,99	1,19	0,40	0,49	0,20	5,4
NE	5,2	1,8	0,80	0,43	0,34	0,90			7,3
ENE	2,7	1,8	0,40	0,05	0,02	0,10			4,5
E	7,0	3,4	1,60	0,04	0,06	0,20			10,5
ESE	5,8	4,4	1,00	0,36	0,36	0,50			10,6
SE	4,9	1,6	1,00	0,97	0,97	0,10	0,38	0,04	7,5
SSE	2,9	1,2	0,30	1,00	0,30	0,40	1,00	0,40	4,8
S	1,6	0,6	0,10	1,00	0,10	0,40	1,00	0,40	2,7
SSO	2,9	1,6	0,60	0,99	0,59	0,40	0,49	0,20	5,3
SO	5,0	3,2	1,40	0,43	0,60	0,40			8,8
OSO	2,2	0,8	0,60	0,05	0,03	0,00			3,0
O	3,2	0,5	0,60	0,04	0,02	0,00			3,7
ONO	1,1	0,4	0,30	0,36	0,11	0,00			1,6
NO	1,5	0,8	0,50	0,97	0,49	0,00	0,38	0,00	2,8
NNO	0,9	0,4	0,30	1,00	0,30	0,00	1,00	0,00	1,6
Calma									9,3
Totale	51,6	23,9							92,2

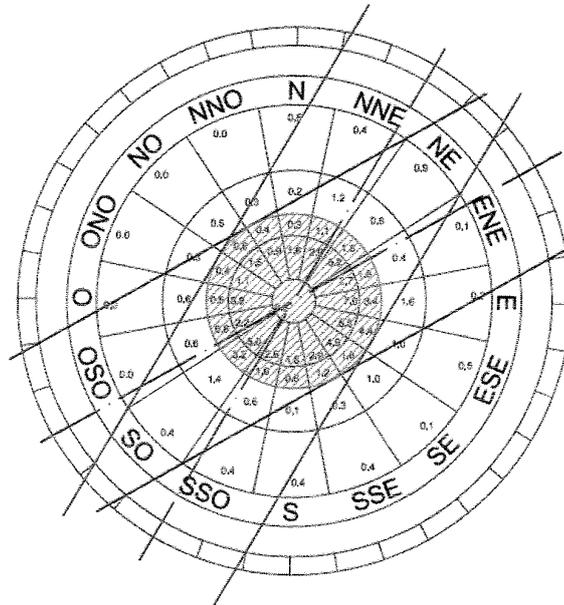
Dai computi eseguiti risulta che la direzione con la percentuale maggiore è la 6/24, con il 94,5%. Questa sarà la pista principale
 Siccome tale valore è inferiore a 96%, deve essere individuata la direzione della pista secondaria. Tali calcoli si eseguono in modo simile al precedente, con la differenza che nel computo non si sommano le percentuali di vento contenute nelle aree che si sovrappongono alla direzione della pista principale.

Direzione 1/19



Direzione	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	0,20	0,70	0,14	0,50	1,00	0,50	0,6
NNE	1,20	0,06	0,07	0,40	0,73	0,29	0,4
NE	0,80			0,90			0,0
ENE	0,40			0,10			0,0
E	1,60			0,20			0,0
ESE	1,00			0,50			0,0
SE	1,00	0,36	0,36	0,10			0,4
SSE	0,30	0,97	0,29	0,40	0,49	0,20	0,5
S	0,10	0,70	0,07	0,40	1,00	0,40	0,5
SSO	0,60	0,06	0,04	0,40	0,73	0,29	0,3
SO	1,40			0,40			0,0
OSO	0,60			0,00			0,0
O	0,60			0,00			0,0
ONO	0,30			0,00			0,0
NO	0,50	0,36	0,18	0,00			0,2
NNO	0,30	0,97	0,29	0,00	0,49	0,00	0,3
Pista principale							94,5
Totale							97,6

Direzione 3/21



Direzione	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	0,20	0,70	0,14	0,50	0,60	0,30	0,4
NNE	1,20	0,06	0,07	0,40	0,73	0,29	0,4
NE	0,80			0,90			0,0
ENE	0,40			0,10			0,0
E	1,60			0,20			0,0
ESE	1,00			0,50			0,0
SE	1,00	0,05	0,05	0,10			0,1
SSE	0,30	0,49	0,15	0,40	0,00	0,00	0,1
S	0,10	0,70	0,07	0,40	0,60	0,24	0,3
SSO	0,60	0,06	0,04	0,40	0,73	0,29	0,3
SO	1,40			0,40			0,0
OSO	0,60			0,00			0,0
O	0,60			0,00			0,0
ONO	0,30			0,00			0,0
NO	0,50	0,05	0,03	0,00			0,0
NNO	0,30	0,49	0,15	0,00	0,00	0,00	0,1
Pista principale							94,5
Totale							96,3