



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1818A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Canobbio Federica

MATERIA: Infrastrutture viarie, Esercitazioni - prof. Bassani

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

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

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

ESERCITAZIONE 1 – SQUADRE RIUNITE

12 Marzo 2015

Esercizio 1 – FERROVIE

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

- Locomotore elettrico veloce: $L_{loc}=18$ m
- N° 12 vagoni: $L_{vagone}=25$ m

Siano inoltre noti:

- Tempo di percezione e reazione $t_r=2$ s
- Decelerazione $a_{dec}=1$ m/s²
- Fattore di sicurezza $k=2$
- Tre sezioni di blocco $j=3$

Determinare la capacità massima e la velocità ideale della linea.

Svolgimento

La capacità massima di una linea ferroviaria è il massimo numero di convogli che attraversano la sezione nell'unità di tempo.

Viene calcolata con la seguente formula:

$$C_{max} = \frac{1}{t_{min}} \cdot 3600 = [\text{conv/h}]$$

con t_{min} pari al minimo distanziamento temporale tra due convogli.

$$C_{max} = \frac{3600}{t_r + \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot j \cdot L_{tot}}{a_{dec}}}}$$

$$L_{tot} = L_{loc} + N_{vagoni} \cdot L_{vagone} = (18 + 12 \cdot 25)\text{m} = 318 \text{ m}$$

$$C_{max} = \frac{3600}{2\text{s} + \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 318 \text{ (m)}}{1 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}}} = 56.4 \cong 56 \frac{\text{conv}}{\text{h}}$$

La velocità ideale è tale da mantenere la minima distanza tra i convogli.

$$V_{ideale} = \sqrt{\frac{2 \cdot a_{dec} \cdot L_{tot}}{k \cdot j}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot 318 \text{ (m)}}{2 \cdot 3}} = 10.29 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Esercizio 3 – AEROPORTI

Un aeroporto è dotato di due piste tra loro parallele e con la medesima lunghezza, che lavorano contemporaneamente l'una per i decolli e l'altra per gli atterraggi. La pista interessata dagli atterraggi è soggetta alla seguente ripartizione dei velivoli in classi di velocità:

Classe	Velocità (km/h)	Percentuale (%)
1	180	60
2	240	40

tabella I

La stessa pista opera con una lunghezza del sentiero di avvicinamento di $\gamma=10$ km, e una distanza minima di separazione tra i velivoli lungo il sentiero pari a $\delta=5$ km.

Si chiede di valutare il numero di ore, dalla prima ora di operatività, in cui lo scalo raggiungerebbe la saturazione del piazzale nell'ipotesi in cui:

- La pista di atterraggio sia interessata da un flusso nella prima ora pari al **60%** della capacità, e nelle ore seguenti pari al **40%** della capacità;
- Il piazzale, inizialmente vuoto, si in grado di accogliere non più di **30 velivoli**;
- La pista di decollo operi con 15 decolli all'ora a partire dalla 3^a ora di operatività dell'aeroporto.

Svolgimento

La capacità di una pista di atterraggio indica il numero massimo di operazioni, tra atterraggi e decolli, che possono essere eseguiti nell'unità di tempo.

$$C = \frac{3600}{t_{\text{medio}}} \frac{\text{vel}}{h}$$

Vista l'eterogeneità del traffico aereo, i velivoli sono raggruppati in categorie di velocità diverse (vedi **tabella I**) e a seconda dei casi (**caso I**, **caso II**) viene calcolato il distanziamento minimo temporale t_{ij} tra due velivoli. Ad ogni valore di tempo di minimo distanziamento è associata una probabilità di accadimento P_{ij} che è legata alla percentuale di ripartizione degli arrivi nelle diverse classi di velocità. Per questo motivo il tempo medio di distanziamento tra i velivoli è dato dalla sommatoria dei tempi t_{ij} moltiplicati per la probabilità P_{ij} associata.

$$t_{\text{medio}} = \sum_{ij} P_{ij} \cdot t_{ij}$$

- Caso I - $v_i \leq v_j \rightarrow t_{\text{min}} = \frac{\delta}{v_j}$
- Caso II - $v_i \geq v_j \rightarrow t_{\text{min}} = \frac{\delta + \gamma}{v_j} - \frac{\gamma}{v_i}$

Dopo 2 ore ho un numero di veicoli pari a $n_{\text{velivoli}} = 21 + 14 = 35$ velivoli che supera la capacità del piazzale, quindi ho una soprassaturazione.

Vista la capacità del piazzale di 30 velivoli, la quota viene raggiunta in un tempo inferiore alle 2 ore, ma maggiore di 1 ora:

$$n_{\text{saturazione}} = 30 \text{ velivoli} = n_{\text{velivoli}_{1\text{ora}}} + t_{\text{saturazione}}(\text{h}) \cdot 0.4 \cdot C \left(\frac{\text{vel}}{\text{h}} \right)$$

$$t_{\text{saturazione}}(\text{h}) = \frac{(n_{\text{velivoli_max}} - n_{\text{velivoli}_{1\text{ora}}})}{0.4 \cdot C \left(\frac{\text{vel}}{\text{h}} \right)} = \frac{30 - 21}{0.4 \cdot 35} = 0.64 \text{ h} = 38'24''$$

Il piazzale raggiunge la sua capacità massima dopo 1 h 38' e 24''.

$$C = \frac{3600}{t_{\text{medio}}} \left(\frac{v}{h} \right)$$

Si riportano di seguito i calcoli svolti.

È interessante notare che le combinazioni lungo la diagonale ricadranno sempre nel caso I ($v_j \geq v_i$), così come gli elementi sopra alla diagonale medesima, mentre gli elementi sotto la diagonale cadranno sempre nel caso II ($v_j < v_i$).

$$t_{11} = \frac{\delta}{v_1} = \frac{6 \text{ km}}{130 \text{ km/h}} 3600 \text{ s/h} = 166.2 \text{ s}$$

$$t_{12} = t_{22} = \frac{\delta}{v_2} = \frac{6 \text{ km}}{200 \text{ km/h}} 3600 \text{ s/h} = 108 \text{ s}$$

$$t_{13} = t_{23} = t_{33} = \frac{\delta}{v_3} = \frac{6 \text{ km}}{240 \frac{\text{km}}{\text{h}}} 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 90 \text{ s}$$

$$t_{31} = \frac{\delta}{v_1} + v \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_3} \right) = \frac{6 \text{ km}}{130 \text{ km/h}} + (12 \text{ km}) \left(\frac{1}{130 \text{ km/h}} - \frac{1}{240 \text{ km/h}} \right) = 318.5 \text{ s}$$

$$t_{32} = \frac{\delta}{v_2} + v \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_3} \right) = \frac{6 \text{ km}}{200 \text{ km/h}} + (12 \text{ km}) \left(\frac{1}{200 \text{ km/h}} - \frac{1}{240 \text{ km/h}} \right) = 144 \text{ s}$$

$$t_{ij} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 166.2 & 108 & 90 \\ 282.5 & 108 & 90 \\ 318.5 & 144 & 90 \end{bmatrix}$$

$$t_{\text{medio}} = \sum_{ij} P_{ij} t_{ij} = [p_1 \quad p_2 \quad p_3] \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix}$$

$$= [p_1 \cdot t_{11} + p_2 \cdot t_{21} + p_3 \cdot t_{31} + p_1 \cdot t_{21} + p_2 \cdot t_{22} + p_3 \cdot t_{32} \quad p_1 \cdot t_{31} + p_2 \cdot t_{23} + p_3 \cdot t_{33}] \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix}$$

$$= p_1(p_1 \cdot t_{11} + p_2 \cdot t_{21} + p_3 \cdot t_{31}) + p_2(p_1 \cdot t_{21} + p_2 \cdot t_{22} + p_3 \cdot t_{32}) + p_3(p_1 \cdot t_{31} + p_2 \cdot t_{23} + p_3 \cdot t_{33}) =$$

$$= 0.3 \cdot [(166.2 \text{ s}) \cdot 0.3 + (108 \text{ s}) \cdot 0.6 + (90 \text{ s}) \cdot 0.1] + 0.6 \cdot [(282.5 \text{ s}) \cdot 0.3 + (108 \text{ s}) \cdot 0.6 + (90 \text{ s}) \cdot 0.1] + 0.1 \cdot [(318.5 \text{ s}) \cdot 0.3 + (144 \text{ s}) \cdot 0.6 + (90 \text{ s}) \cdot 0.1] =$$

$$= (0.3 \cdot 123.66 + 0.6 \cdot 158.55 + 0.1 \cdot 190.95) \text{ s} = (37.098 + 95.13 + 19.095) \text{ s} = 151.323 \text{ s}$$

$$\cong 151.3 \text{ s}$$

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

La velocità ideale, cioè la velocità massima con cui è percorribile tale linea, vale:

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

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

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

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

Ipotizzando infine la presenza di stazioni in linea che richiedono un tempo di sosta pari a $t_s = 120 \text{ s}$, le capacità suddette si modificano come segue:

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

Esercizio 2 – FERROVIE

Calcolare la **capacità teorica (pax/h)** di una linea ferroviaria ad **alta velocità (300 km/h)** nell'ipotesi in cui sia gestita con un sistema a blocco automatico e considerando i seguenti dati:

- Convoglio composto da **12 unità** tra **vagoni (10)** e **locomotori (2)**;
- Lunghezza complessiva del convoglio $L_{TOT} = 200 \text{ m}$;
- Capienza **55 posti** per vagone di **1ª classe (4 vagoni)** e **70 posti** per vagone di **2ª classe (6 vagoni)**;
- Fattore di carico del convoglio $F_c = 80\%$;
- Tempo di percezione e reazione $t_R = 3 \text{ s}$;
- Decelerazione $a_{dec} = 2 \text{ m/s}^2$;
- Fattore di sicurezza $k = 3$;
- Tre sezioni di blocco: $j=3$.

Svolgimento

Capacità massima della ferrovia:

$$C = \frac{3600}{t_{min}} = \frac{3600}{\frac{L_{TOT}}{v_{max}} + \frac{k \cdot j \cdot v_{max}}{2 \cdot a_{dec}} + t_R} = \left[\frac{\text{conv}}{\text{h}} \right]$$

$$C = \frac{3600}{\frac{200 \text{ (m)}}{\left(\frac{300}{3.6}\right) \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)} + \frac{3 \cdot 3 \cdot \frac{300}{3.6} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{2 \cdot 2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} + 3 \text{ s}} = 18.67 \cong 18 \frac{\text{conv}}{\text{h}}$$

Dato che i convogli non si succedono mai con un distanziamento temporale minimo, la capacità viene moltiplicata per il fattore di utilizzazione per ottenere il valore reale .

$$C' = C \cdot f_u = 18 \cdot 0.7 = 12.6 \cong 12 \frac{\text{conv}}{\text{h}}$$

Moltiplicando il numero di passeggeri di un convoglio per la capacità C' si ottiene il numero massimo di passeggeri che vengono trasportati all'ora.

$$n_{pax_{max}} = \left(\text{vagoni}_{1\text{classe}} \cdot n_{pax_{1\text{classe}}} + \text{vagoni}_{2\text{classe}} \cdot n_{pax_{2\text{classe}}} \right) \cdot C'$$

$$n_{pax_{max}} = (4 \cdot 55 + 6 \cdot 70) \cdot 12 = 7680 \frac{\text{pax}}{\text{h}}$$

Esercizio 3 – AEROPORTI

Valutare la capacità di una pista aeroportuale con la seguente ripartizione dei velivoli in classi di velocità (**Tabella 1**). 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 (km/h)	Percentuale (%)
1	Pesanti (H)	280	25
2	Grandi (L)	245	35
3	Piccoli 1 (S1)	190	20
4	Piccoli 2 (S2)	140	20

Tabella 1: Ripartizione dei velivoli in classi di velocità

Svolgimento

Definita la capacità di una pista aeroportuale come

$$C = \frac{3600}{t_{\text{medio}}} \text{ (vel/h)}$$

Si ricava innanzitutto il tempo medio

$$t_{\text{medio}} = \sum_{ij} P_{ij} \cdot t_{ij}$$

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 ed è esprimibile anche in forma matriciale come

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

Si calcola innanzitutto il tempo di arrivo per ogni combinazione possibile tra le diverse classi di velocità, valutando caso per caso 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 1**, è possibile ridurre i calcoli, limitandosi a valutare solo gli elementi sulla diagonale e sopra la diagonale:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} p_1^2 & p_1 p_2 & p_1 p_3 & p_1 p_4 \\ p_2 p_2 & p_2^2 & p_2 p_3 & p_2 p_4 \\ p_3 p_1 & p_3 p_2 & p_3^2 & p_3 p_4 \\ p_4 p_1 & p_4 p_2 & p_4 p_3 & p_4^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.063 & 0.088 & 0.050 & 0.050 \\ 0.088 & 0.123 & 0.070 & 0.070 \\ 0.050 & 0.070 & 0.040 & 0.040 \\ 0.050 & 0.070 & 0.040 & 0.040 \end{bmatrix}$$

si procede con il calcolo del tempo medio

$$\begin{aligned} t_{\text{medio}} &= \sum_{ij} P_{ij} \cdot t_{ij} = \\ &= 70.71 \cdot 0.063 + 96.40 \cdot 0.088 + 156.00 \cdot 0.050 + 250.70 \cdot 0.050 + \\ &+ 70.71 \cdot 0.088 + 80.81 \cdot 0.123 + 140.40 \cdot 0.070 + 235.10 \cdot 0.070 + \\ &+ 70.71 \cdot 0.050 + 80.81 \cdot 0.070 + 104.20 \cdot 0.040 + 198.95 \cdot 0.040 + \\ &+ 70.71 \cdot 0.050 + 80.81 \cdot 0.070 + 104.20 \cdot 0.040 + 141.40 \cdot 0.040 = \\ &= 33.27 + 42.45 + 21.32 + 19.02 \cong 116 \text{ s} \end{aligned}$$

Per poi calcolare infine la capacità

$$C = \frac{3600}{t_{\text{medio}}} \left(\frac{\text{vel}}{\text{h}} \right) = \frac{3600 \left(\frac{\text{s}}{\text{h}} \right)}{112 \left(\frac{\text{s}}{\text{vel}} \right)} \cong 31 \frac{\text{vel}}{\text{h}}$$

$$t'_{ij} = \begin{bmatrix} t'_{11} & t'_{12} & t'_{13} & t'_{14} \\ t'_{21} & t'_{22} & t'_{23} & t'_{24} \\ t'_{31} & t'_{32} & t'_{33} & t'_{34} \\ t'_{41} & t'_{42} & t'_{43} & t'_{44} \end{bmatrix}$$

La prima colonna della matrice ha valori tutti uguali poiché l'aereo di classe 1 è quello con velocità maggiore ed è l'aereo che segue, quindi il tempo viene calcolato per ciascuna componente come:

$$t'_{i1} = \frac{\delta}{v_1} \cdot 3600 = \frac{7.5 \text{ (km)}}{300 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)} \cdot 3600 = 90 \text{ s}$$

Lo stesso ragionamento vale per le componenti t'_{i2} con $i \geq 2$ e t'_{i3} con $i \geq 3$

$$t'_{i2} = \frac{\delta}{v_2} \cdot 3600 = \frac{7.5 \text{ (km)}}{220 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)} \cdot 3600 = 122.7 \cong 123 \text{ s} \quad \text{con } i \geq 2$$

$$t'_{i3} = \frac{\delta}{v_3} \cdot 3600 = \frac{7.5 \text{ (km)}}{170 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)} \cdot 3600 = 158.8 \cong 159 \text{ s} \quad \text{con } i \geq 3$$

$$t'_{44} = \frac{\delta}{v_4} \cdot 3600 = \frac{7.5 \text{ (km)}}{130 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)} \cdot 3600 = 207.7 \cong 208 \text{ s}$$

Per tutte le altre componenti bisogna utilizzare la formula

$$t'_{ij} = \frac{\delta + \gamma}{v_j} - \frac{\gamma}{v_i}$$

poiché si ha sempre $v_i < v_j$.

$$t'_{12} = \frac{\delta + \gamma}{v_2} - \frac{\gamma}{v_1} = \left[\frac{(7.5 + 11.5) \text{ (km)}}{220 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)} - \frac{11.5 \text{ (km)}}{300 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)} \right] \cdot 3600 = 172.9 \cong 173 \text{ s}$$

$$t'_{13} = \frac{\delta + \gamma}{v_3} - \frac{\gamma}{v_1} = \left[\frac{(7.5 + 11.5) \text{ (km)}}{170 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)} - \frac{11.5 \text{ (km)}}{300 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)} \right] \cdot 3600 = 264.4 \text{ s}$$

$$t'_{23} = \frac{\delta + \gamma}{v_3} - \frac{\gamma}{v_2} = \left[\frac{(7.5 + 11.5) \text{ (km)}}{170 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)} - \frac{11.5 \text{ (km)}}{220 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)} \right] \cdot 3600 = 241.2 \text{ s}$$

$$= \begin{vmatrix} 0.0225 & 0.045 & 0.0525 & 0.03 \\ 0.045 & 0.09 & 0.105 & 0.06 \\ 0.0525 & 0.105 & 0.1225 & 0.07 \\ 0.03 & 0.06 & 0.07 & 0.04 \end{vmatrix}$$

$$t_{\text{medio}} = \sum_{ij} p_{ij} \cdot t_{ij}$$

$$\begin{aligned} &= p_{11} \cdot t_{11} + p_{12} \cdot t_{12} + p_{13} \cdot t_{13} + p_{14} \cdot t_{14} + p_{21} \cdot t_{21} + p_{22} \cdot t_{22} + p_{23} \cdot t_{23} + p_{24} \\ &\cdot t_{24} + p_{31} \cdot t_{31} + p_{32} \cdot t_{32} + p_{33} \cdot t_{33} + p_{34} \cdot t_{34} + p_{41} \cdot t_{41} + p_{42} \cdot t_{42} + p_{43} \cdot t_{43} + p_{44} \\ &\cdot t_{44} \\ &= 0.0225 \cdot 120 + 0.045 \cdot 173 + 0.0525 \cdot 264.4 + 0.03 \cdot 388.2 + 0.045 \cdot 95 \\ &+ 0.09 \cdot 123 + 0.105 \cdot 241.2 + 0.06 \cdot 338 + 0.0525 \cdot 90 + 0.105 \cdot 123 + 0.1225 \\ &\cdot 159 + 0.07 \cdot 283 + 0.03 \cdot 90 + 0.06 \cdot 123 + 0.07 \cdot 159 + 0.04 \cdot 208 = 183.4 \text{ s} \end{aligned}$$

Capacità:

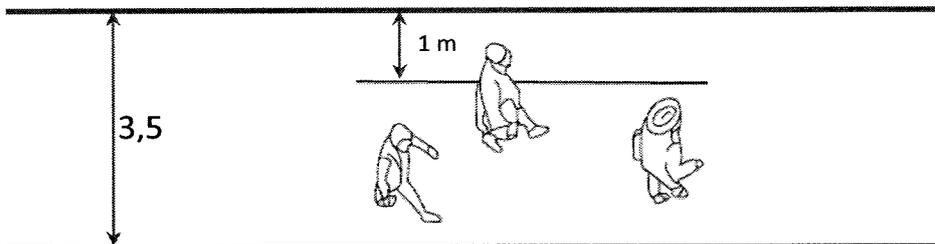
$$C = \frac{3600 \text{ vel}}{t_{\text{medio}} \text{ h}} = \frac{3600}{183.4} = 19.6 \cong 19 \frac{\text{vel}}{\text{h}}$$

ESERCITAZIONE 2 – SQUADRE SEPARATE

19 Marzo 2015

Esercizio 1 – DEFLUSSO PEDONALE E LIVELLI DI SERVIZIO

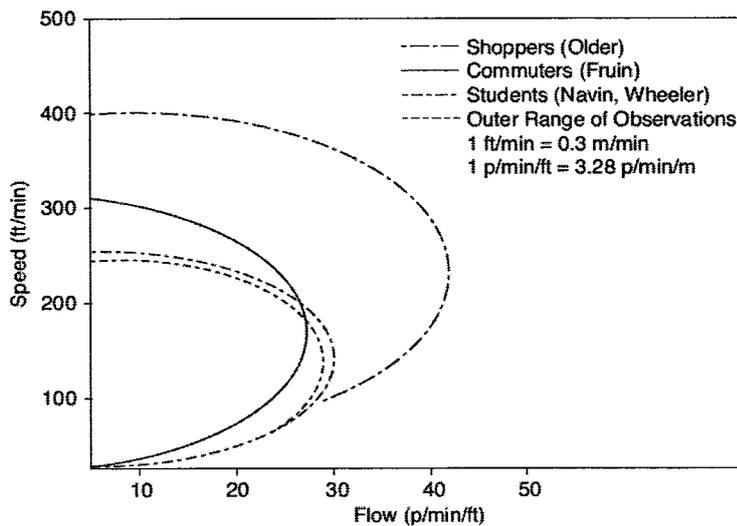
Si consideri un segmento di marciapiede di larghezza 3,5 m, delimitato su un lato da un cordolo e sull'altro da vetrine di negozi. Considerando che la presenza delle vetrine sottrae circa 1 m alla normale circolazione dei pedoni, e che nel quarto d'ora di massimo movimento sono stati osservati 1200 pedoni,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



$$L_{\text{marciapiede}} = 3.5 \text{ m}$$

$$L_{\text{vetrine}} = 1 \text{ m}$$

$$Q_{15} = 1200 \text{ ped}/15'$$



Relazione fondamentale:

LOS	Space (ft ² /p)	Flow Rate (p/min/ft)	Speed (ft/s)	v/c Ratio
A	>60	≤5	>4.25	≤0.21
B	>40-60	>5-7	>4.17-4.25	>0.21-0.31
C	>24-40	>7-10	>4.00-4.17	>0.31-0.44
D	>15-24	>10-15	>3.75-4.00	>0.44-0.65
E	>8-15	>15-23	>2.50-3.75	>0.65-1.0
F	≤8	variable	≤2.50	variable

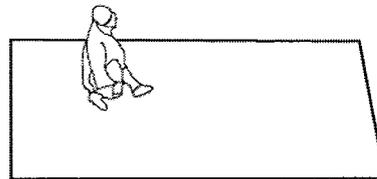
Note: 1 ft²/p = 0.09 m²/p; 1 p/min/ft = 3.3 p/min/m; 1ft/s = 0.3 m/s

Il valore di Q_{ped} è compreso nell'intervallo di flow rate 7-10 che corrisponde ad un LOS C.

LOS A

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

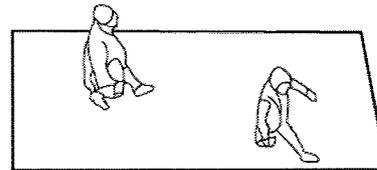
At a walkway LOS A, pedestrians move in desired paths without altering their movements in response to other pedestrians. Walking speeds are freely selected, and conflicts between pedestrians are unlikely.



LOS B

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

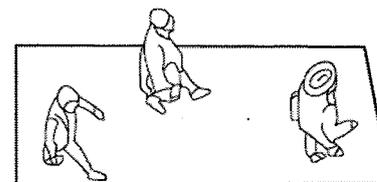
At LOS B, there is sufficient area for pedestrians to select walking speeds freely, to bypass other pedestrians, and to avoid crossing conflicts. At this level, pedestrians begin to be aware of other pedestrians, and to respond to their presence when selecting a walking path.



LOS C

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

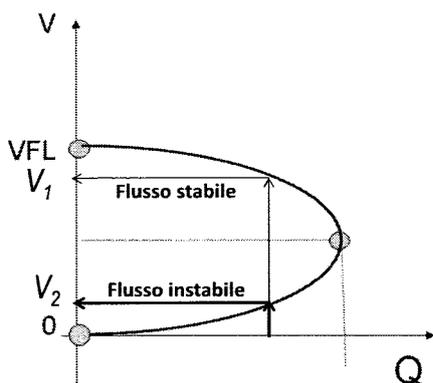
At LOS C, space is sufficient for normal walking speeds, and for bypassing other pedestrians in primarily unidirectional streams. Reverse-direction or crossing movements can cause minor conflicts, and speeds and flow rate are somewhat lower.



Esercizio 2 – DEFLUSSO VEICOLARE

Lungo una carreggiata di un tratto di strada operante in condizioni di flusso ininterrotto è stata misurata una velocità di flusso libero VFL pari a 120 km/h e una capacità (o flusso critico Q_{CR}) di 2300 v/h per ciascuna corsia di marcia.

Determinare a quale velocità si muoverebbe un flusso di 1200 v/h in ciascuna corsia nell'ipotesi di legame lineare tra velocità e densità (ipotesi di Greenshields).



VFL	120 km/h	(velocità di flusso libero)
Q _{cr}	2300 v/h	(capacità o flusso critico)
Q	1200 v/h	(flusso o volume orario)
V _{cr}	60 km/h	(velocità critica)
D _{cr}	38.33 v/km	(densità critica)
D _c	76.7 v/km	(densità in condizioni di congestione)

Relazione principale:

$$Q = D \cdot V$$

La densità critica si esprime tramite la relazione:

$$D_{cr} = \frac{Q_{cr}}{V_{cr}}$$

La velocità critica è pari alla metà della velocità di flusso libero.

$$V_{cr} = \frac{VFL}{2} = \frac{120 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{2} = 60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Quindi:

$$D_{cr} = \frac{Q_{cr}}{V_{cr}} = \frac{2300 \frac{\text{v}}{\text{h}}}{60 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 38.33 \frac{\text{v}}{\text{km}}$$

$$D_c = 2 \cdot D_{cr} = 2 \cdot 38.33 \frac{\text{v}}{\text{km}} = 76.7 \frac{\text{v}}{\text{km}}$$

Ora si hanno tutte le grandezze per poter risolvere l'equazione di secondo grado relativa alle velocità.

$$V_{1,2} = \frac{D_c \pm \sqrt{D_c^2 - 4 \cdot \frac{D_c \cdot Q}{VFL}}}{2 \cdot \frac{D_c}{VFL}} = \frac{76.7 \frac{\text{v}}{\text{km}} \pm \sqrt{76.7^2 \frac{\text{v}}{\text{km}} - 4 \cdot \frac{76.7 \frac{\text{v}}{\text{km}} \cdot 1200 \frac{\text{v}}{\text{h}}}{120 \frac{\text{km}}{\text{h}}}}}{2 \cdot \frac{76.6 \frac{\text{v}}{\text{km}}}{120 \frac{\text{km}}{\text{h}}}}$$

$$V_1 = 101.3 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad \text{velocità di flusso stabile}$$

$$V_2 = 18.5 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad \text{velocità di flusso instabile}$$

Esercizio 4 – FATTORE DELL'ORA DI PUNTA

Calcolare il fattore dell'ora di punta PHF e il tasso di flusso TF di una strada il cui numero di veicoli transitanti nei quattro quarti d'ora di riferimento è il seguente:

- $16.30 - 16.45 = V_{15,1} = 1200$ veicoli/15'
- $16.45 - 17.00 = V_{15,2} = V_{15,\max} = 1400$ veicoli/15'
- $17.00 - 17.15 = V_{15,3} = 1100$ veicoli/15'
- $17.15 - 17.30 = V_{15,4} = 1300$ veicoli/15'

Fattore dell'ora di punta:

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

$$\begin{aligned} \text{VHP} &= \sum_i V_{15,i} = V_{15,1} + V_{15,2} + V_{15,3} + V_{15,4} = (1200 + 1400 + 1100 + 1300) \frac{\text{veicoli}}{15'} \\ &= 5000 \frac{\text{veicoli}}{15'} \end{aligned}$$

$$\text{PHF} = \frac{5000 \frac{\text{veicoli}}{15'}}{4 \cdot 1400 \frac{\text{veicoli}}{15'}} = 0.892$$

Tasso di flusso:

$$\text{TF} = \frac{\text{VHP}}{\text{PHF}} = 4 \cdot V_{15,\max} = 4 \cdot 1400 \frac{\text{veicoli}}{15'} = 5600 \frac{\text{veicoli}}{\text{h}}$$

Avendo una larghezza della corsia pari a 10,82 ft il fattore di riduzione f_{lw} è pari 6.6 mi/h

Right-Side Lateral Clearance (ft)	Lanes in One Direction			
	2	3	4	≥5
≥6	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.6	0.4	0.2	0.1
4	1.2	0.8	0.4	0.2
3	1.8	1.2	0.6	0.3
2	2.4	1.6	0.8	0.4
1	3.0	2.0	1.0	0.5
0	3.6	2.4	1.2	0.6

Exhibit 11-9
Adjustment to FFS for Right-Side Lateral Clearance, f_{lc} (mi/h)

Il fattore di riduzione f_{lc} per una strada a due corsie per senso di marcia e con una larghezza delle banchine di circa 2 ft è 2.4 mi/h.

La velocità di flusso libero risulta essere:

$$FFS = 75.4 - f_{lw} - f_{lc} - 3.22 TRD^{0.84} = 75.4 - 4.5 - 2.4 - 3.22 \cdot 7.25^{0.84} = 49.39 \frac{mi}{h}$$

La velocità di flusso libero viene arrotondata alla FFS più prossima riportata sul manuale HCM, quindi la velocità di flusso libero di riferimento sarà pari a 55 mi/h.

2. Calcolo di f_{HV} :

Il coefficiente f_{HV} tiene conto della disomogeneità dei veicoli, ovvero della presenza di mezzi pesanti commerciali e turistici.

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

La percentuale di mezzi commerciali presenti sull'autostrada è del 5% → $P_T = 0.05$

Essendo solo presenti mezzi pesanti commerciali e non turistici e il tratto di strada di interesse è collinare $E_R = 2.5$ e la parte dell'equazione relativa ai mezzi turistici è pari a zero.

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

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

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)} = \frac{1}{1 + 0.05 \cdot (2.5 - 1)} = 0.93$$

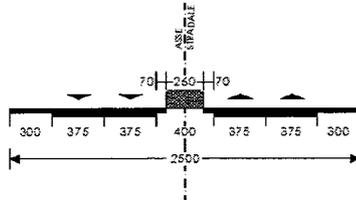
3. Calcolo v_p sapendo che $f_p \cong 1$

Esercizio #6 – PROGETTO DI SEZIONE AUTOSTRADALE

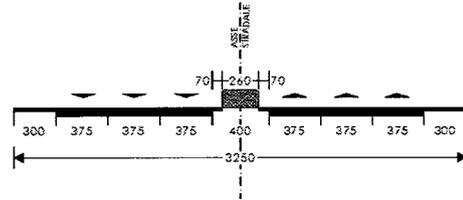
Una nuova autostrada extraurbana si sviluppa su un terreno pianeggiante. Il volume di traffico nell'ora di punta in entrambe le direzioni è di 2700 v/h, con un PHF pari a 0,85, il 15% di traffico pesante nella corrente e una densità di svincoli pari a 0,1 al km.

Considerando la presenza lungo il tracciato di una sezione di lunghezza 3 km al 4% di pendenza longitudinale, calcolare il numero di corsie necessarie per garantire lungo l'autostrada un livello di servizio B.

Soluzione base a 2+2 corsie di marcia



Soluzione a 3+3 corsie di marcia



Conversione delle unità di misura dell'esercizio:

Densità delle rampe: $0,1 \text{ r/km} = 0,1 \text{ r/km} \cdot 1,61 \text{ km/mi} = 0,16 \text{ r/mi}$

Lunghezza del tratto in esame: $3 \text{ km} = 3 \text{ km} / 1,61 \text{ km/mi} = 1,86 \text{ mi}$

Svolgimento:

1. Calcolo della FFS (VFL):

$$FFS = 75,4 - f_{LW} - f_{LC} - 3,22 \text{ TRD}^{0,84}$$

Per un'autostrada extraurbana in Italia si assumono i seguenti dati:

- Larghezza corsia: $3,75 \text{ m} = 3,75 \text{ m} / 0,305 \text{ m/ft} = 12,3 \text{ ft}$

3. Calcolo di f_{HV} per il tratto in discesa:

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

Per il calcolo di E_T in discesa il manuale suggerisce di utilizzare la tabella 11-10.

$E_T=2.5$ perché si ha una pendenza tale da avere un terreno collinare.

$$f_{HVd} = \frac{1}{1 + 0.15 \cdot (4.5 - 1)} = 0.65$$

4. Calcolo di f_{HV} per il tratto in salita:

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

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
>2-3	0.00-0.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>0.25-0.50	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
	>0.75-1.00	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	>1.00-1.50	2.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
>3-4	>1.50	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	0.00-0.25	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	1.5	1.5	1.5
	>0.50-0.75	2.5	2.5	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	2.0	2.0	2.0
>4-5	>1.00-1.50	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
	>1.50	4.0	3.5	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
	>0.25-0.50	3.0	2.5	2.5	2.5	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
>5-6	>0.75-1.00	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	>1.00	5.0	4.0	4.0	4.0	3.5	3.5	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
	>0.25-0.30	4.0	3.0	2.5	2.5	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
>6	>0.50-0.75	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	>0.75-1.00	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	>1.00	6.0	5.0	5.0	4.5	3.5	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	1.0
	>0.25-0.30	4.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
>6	>0.30-0.50	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5	2.5
	>0.50-0.75	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	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
	>1.00	7.0	6.0	5.5	5.5	5.0	4.5	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.

6. Calcolo del numero di corsie (N) nel tratto in salita:

$$N_s = \frac{VHP \left(\frac{v}{h} \right)}{PHF \cdot TF_{max,i}(pc/h/\ln) \cdot f_{hv} \cdot f_p}$$

Per il calcolo di $TF_{max,i}$ devo interpolare due valori poiché avendo una velocità di 74.7 mi/h il valore di TF è compreso tra 1250 e 1310.

$$\frac{1310 - 1250}{5} = 12$$

$$75 - 74.7 = 0.3 \rightarrow 1310 - 0.3 \cdot 12 = 1306.4$$

$$N_s = \frac{2700}{0.85 \cdot 1306.4 \cdot 0.82 \cdot 1} = 2.9 \cong \text{corsie}$$

Si adottano 4 corsie per senso di marcia.

ESERCITAZIONE 2 – SQUADRE SEPARATE

24 marzo 2015

Esercizio #1 – Analisi di un tratto di strada extraurbana di categoria C1 – classe 1

Una strada extraurbana secondaria di classe I su terreno collinare è interessata da un volume dell'ora di punta di 500 veicoli, con il 15% di traffico pesante e il 5% di traffico turistico. La distribuzione del traffico nell'ora di punta è pari a 40/60 tra le due corsie con un PHF pari a 0,88.

Si determini il livello di servizio della strada nelle due direzioni sapendo che:

- lunghezza del tratto esaminato 16 km;
- 40% di tracciato con sorpasso impedito;
- Velocità di base del flusso libero BVFL (BFFS) pari a 95 km/h;
- larghezza delle corsie 3,75 m, larghezza delle banchine 1,5 m;
- 13 accessi per km.

Conversione delle unità di misura dell'esercizio:

Lunghezza del tratto in esame: 16 km = 16 km / 1,61 km/mi = **9.94 mi**

Velocità di base del flusso libero: 95 km/h = 95 km/h / 1,61 km/mi = **59.0 mi/h**

Larghezza delle corsie: 3,75 m = 3,75 m / 0,305 m/ft = **12.3 ft**

Larghezza delle banchine: 1,5 m = 1,5 m / 0,305 m/ft = **4.92 ft**

Densità degli accessi: 13 a/km = 13 a/km · 1,61 km/mi = **21 a/mi**

Svolgimento:

1. Calcolo della FFS (VFL):

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A = 59.0 - 1.3 - 5.25 = 52.45 \text{ mi/h}$$

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

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. Calcolo del volume di traffico (VH) e del tasso di flusso (TF o v_{vph}) nelle due direzioni:

$$VH_d = 0,4 \cdot VH = 0.4 \cdot 500 = 200 \text{ v/h}$$

$$v_{vph,d} = VH/PHF = 200/0.88 = 228 \text{ v/h}$$

$$VH_o = 0,6 \cdot VH = 0.6 \cdot 500 = 300 \text{ v/h}$$

$$v_{vph,o} = VH/PHF = 300/0.88 = 341 \text{ v/h}$$

3. Calcolo di f_G (per la pendenza) per il calcolo di ATS nelle due direzioni:

Direzione "d", $f_{NP,ATS}$ (50mi/h)= **1.4** Direzione "d", $f_{NP,ATS}$ (55mi/h)= **1.6**
 Direzione "d", $f_{NP,ATS}$ (per interpolazione su FFS dei 2 precedenti) = **1.5**

Direzione "o", $f_{NP,ATS}$ (50mi/h)= **1.7** Direzione "o", $f_{NP,ATS}$ (55mi/h)= **2.0**
 Direzione "o", $f_{NP,ATS}$ (per interpolazione su FFS dei 2 precedenti) = **1.8**

Exhibit 15-15
 ATS Adjustment Factor for
 No-Passing Zones ($f_{NP,ATS}$)

Opposing Demand Flow Rate, v_e (pc/h)	Percent No-Passing Zones				
	≤ 20	40	60	80	100
FFS ≥ 65 mi/h					
≤100	1.1	2.2	2.8	3.0	3.1
200	2.2	3.3	3.9	4.0	4.2
400	1.6	2.3	2.7	2.8	2.9
600	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0
800	0.7	1.0	1.2	1.4	1.5
1,000	0.6	0.8	1.1	1.1	1.2
1,200	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1
1,400	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9
≥1,600	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
FFS = 60 mi/h					
≤100	0.7	1.7	2.5	2.8	2.9
200	1.9	2.9	3.7	4.0	4.2
400	1.4	2.0	2.5	2.7	3.9
600	1.1	1.3	1.6	1.9	2.0
800	0.6	0.9	1.1	1.3	1.4
1,000	0.6	0.7	0.9	1.1	1.2
1,200	0.5	0.7	0.9	0.9	1.1
1,400	0.5	0.6	0.8	0.8	0.9
≥1,600	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7
FFS = 55 mi/h					
≤100	0.5	1.2	2.2	2.6	2.7
200	1.5	2.4	3.5	3.9	4.1
400	1.3	1.9	2.4	2.7	2.8
600	0.9	1.1	1.6	1.8	1.9
800	0.5	0.7	1.1	1.2	1.4
1,000	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1
1,200	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0
1,400	0.5	0.6	0.7	0.7	0.9
≥1,600	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7
FFS = 50 mi/h					
≤100	0.2	0.7	1.9	2.4	2.5
200	1.2	2.0	3.3	3.9	4.0
400	1.1	1.6	2.2	2.6	2.7
600	0.6	0.9	1.4	1.7	1.9
800	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3
1,000	0.4	0.4	0.7	0.9	1.1
1,200	0.4	0.4	0.7	0.8	1.0
1,400	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8
≥1,600	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
FFS ≤ 45 mi/h					
≤100	0.1	0.4	1.7	2.2	2.4
200	0.9	1.6	3.1	3.8	4.0
400	0.9	0.5	2.0	2.5	2.7
600	0.4	0.3	1.3	1.7	1.8
800	0.3	0.3	0.8	1.1	1.2
1,000	0.3	0.3	0.6	0.8	1.1
1,200	0.3	0.3	0.6	0.7	1.0
1,400	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7
≥1,600	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6

Note: Interpolation of $f_{NP,ATS}$ for percent no-passing zones, demand flow rate, and FFS to the nearest 0.1 is recommended.

8. Calcolo del ATS_d e ATS_o :

$$ATS_d = FFS - 0,00776 \cdot (v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{NP,ATS,d} = 52.45 - 0.00776(351+466) - 1.5 = 44.7 \text{ mi/h}$$

$$ATS_o = FFS - 0,00776 \cdot (v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{NP,ATS,o} = 52.45 - 0.00776(351+466) - 1.8 = 44.4 \text{ mi/h}$$

9. Calcolo di f_G (per la pendenza) per il calcolo di PTSF:

Direzione "d", $f_G = 0.81$ Direzione "o", $f_G = 0.87$

Si noti che v_o identifica la direzione opposta a quella considerata.

Opposing Demand Flow Rate, v_o (pc/h)	Coefficient	
	a	b
≤200	-0.0014	0.973
400	-0.0022	0.923
600	-0.0033	0.870
800	-0.0045	0.833
1,000	-0.0049	0.829
1,200	-0.0054	0.825
1,400	-0.0058	0.821
≥1,600	-0.0062	0.817

Exhibit 15-20
PTSF Coefficients for Use in Equation 15-10 for Estimating BPTSF

Note: Straight-line interpolation of a to the nearest 0.0001 and b to the nearest 0.001 is recommended.

$a_d = -0.0025$ $a_o = -0.0018$
 $b_d = 0.909$ $b_o = 0.952$

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	14.6	36.1	44.8	53.4	55.0	56.3
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	27.3
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

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

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.

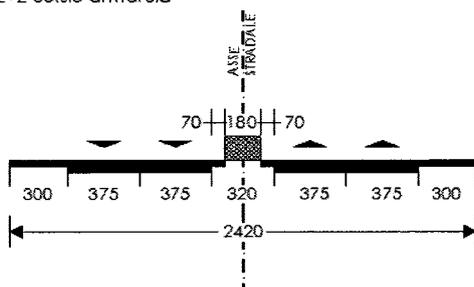
Attualmente, essa è costituita da due carreggiate con due corsie ciascuna. Le caratteristiche sono le seguenti:

- 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.

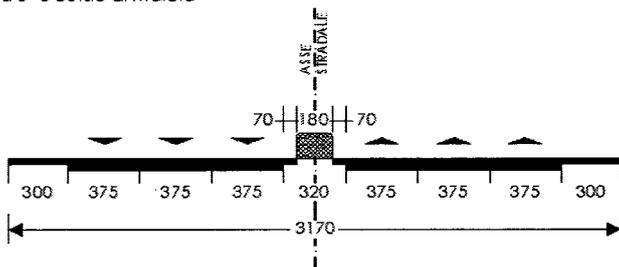
Dopo aver determinato l'attuale livello di servizio, si chiede di progettare la nuova sezione trasversale assumendo un livello di servizio C considerando un aumento del volume orario direzionale, a lavori di ammodernamento ultimati, del 15% rispetto all'attuale.

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

Si consideri ora la seconda soluzione proposta, con 3+3 corsie per senso di marcia:

$$f_{ic} = 2,4$$

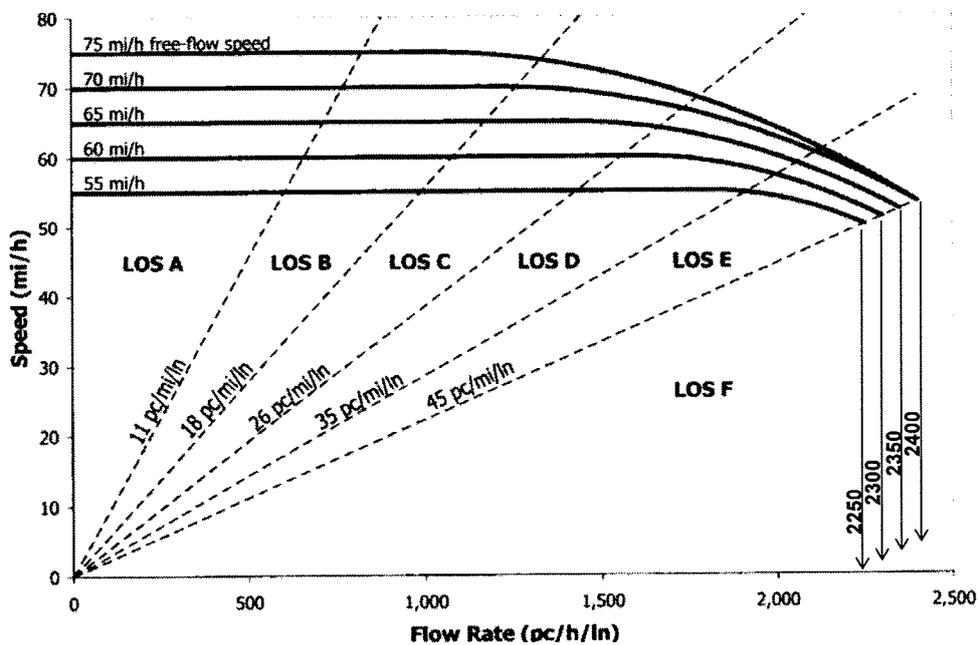
$$f_{iw} = 6,6 \text{ mi/h}$$

$$FFS = 75,4 - 2,4 - 6,6 - (5,635)^{0,84} = 62,12 \text{ mi/h}$$

$$S = 60 \text{ mi/h}$$

$$V_p \text{ (pc/h/ln)} = \frac{V \text{ (v/h)}}{PHF \cdot N \cdot f_{hv} \cdot f_p} = \frac{3450}{0,92 \cdot 3 \cdot 0,93 \cdot 1} = 1344,086 \text{ pc/h/ln}$$

$$D \text{ (pc/mi/ln)} = TF \text{ (pc/h/ln)} / S \text{ (mi/h)} = 1344,086 / 60 = 22,40 \text{ pc/h/ln}$$



È immediato osservare che, nell'ipotesi di un aumento del volume di traffico veicolare orario del 15 %, con la seconda soluzione proposta, con 3+3 corsie per senso di marcia, risponde ai requisiti richiesti in termini di livello di servizio, garantendo un LOS = C.

ESERCITAZIONE 3 – SQUADRE RIUNITE

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);
- $S = 2,4 \text{ m}^2$;
- $c = 0,35$.

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

$$P = m \cdot g = \frac{897 \text{ kg}_m \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1000 \frac{\text{N}}{\text{kN}}} = 8,80 \text{ kN}$$

$$R_{RD} = P \cdot r_{rd} = 8,80 \text{ kN} \cdot 15 \frac{\text{N}}{\text{kN}} = 132,0 \text{ N}$$

$$R_a = \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot c \cdot S \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,247 \text{ Nm}^{-4}\text{s}^2 \cdot 0,35 \cdot 2,4 \text{ m}^2 \cdot \left(\frac{130 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}\right)^2 = 683,0 \text{ N}$$

$$R_{ord} = R_{RD} + R_a = 132 \text{ N} + 683 \text{ N} = 815,0 \text{ N}$$

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.

Locomotore:

$$a = 2,5$$

$$b = 0,0003$$

$$R_{ord,L} = a + b \cdot V^2 = 2,5 + 0,0003 \cdot \left(160 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2 = 10,18 \frac{\text{N}}{\text{kN}}$$

$$P_L = m_L \cdot g = \frac{89000 \text{ kg}_m \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1000 \frac{\text{N}}{\text{kN}}} = 873,09 \text{ kN}$$

Grado di prestazione	$i + r_c$						
1	4,5	9	9,2	17	17	25	27,8
2	5	10	10	18	18,4	26	29,3
3	5,5	11	11	19	19,8	27	30,8
4	6	12	12	20	20,9	28	32,5
5	6,5	13	12,9	21	21,9	29	34,2
6	7	14	13,8	22	22,7	30	37,5
7	7,7	15	14,6	23	24,6	31	40,5
8	8,4	16	15,8	24	25,7		

Locomotore:

$a = 2.5$

$b = 0.0003$

$$R_{ord,L} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.0003 \cdot \left(120 \frac{km}{h}\right)^2 = 6.82 \frac{N}{kN}$$

Vagone:

$a = 2.5$

$b = 0.00014$

$$R_{ord,V} = a + b \cdot V^2 = 2.5 + 0.00014 \cdot \left(120 \frac{km}{h}\right)^2 = 4.52 \frac{N}{KN}$$

$P_L = 873.09 kN$

(I pesi sono uguali a quelli dell'esercizio precedente)

$P_V = 417.51 kN$

$$i_c(25) = i + r_c = 27.8$$

$m = 650$

$n = 55$

Formula di Van Rockl:

$$r_c = \frac{m}{R - n} = \frac{650}{500 - 55} = 1.46 \frac{N}{kN}$$

$$i = i_c(25) - r_c = 27.8 - 1.46 = 26.3\%$$

$$T = R_{ord} + R_i + R_c \Rightarrow \frac{n_L \cdot W_{max,L}}{v} = P \cdot r_{ord} + P \cdot (i + r_c)$$

$$\frac{n_L \cdot W_{max,L}}{v} = n_L \cdot P_L \cdot r_{ord,L} + n_V \cdot P_V \cdot r_{ord,V} + P \cdot (i + r_c)$$

$$\frac{n_L \cdot W_{max,L}}{v} = n_L \cdot P_L \cdot (r_{ord,L} + i + r_c) + n_V \cdot P_V \cdot (r_{ord,V} + i + r_c)$$

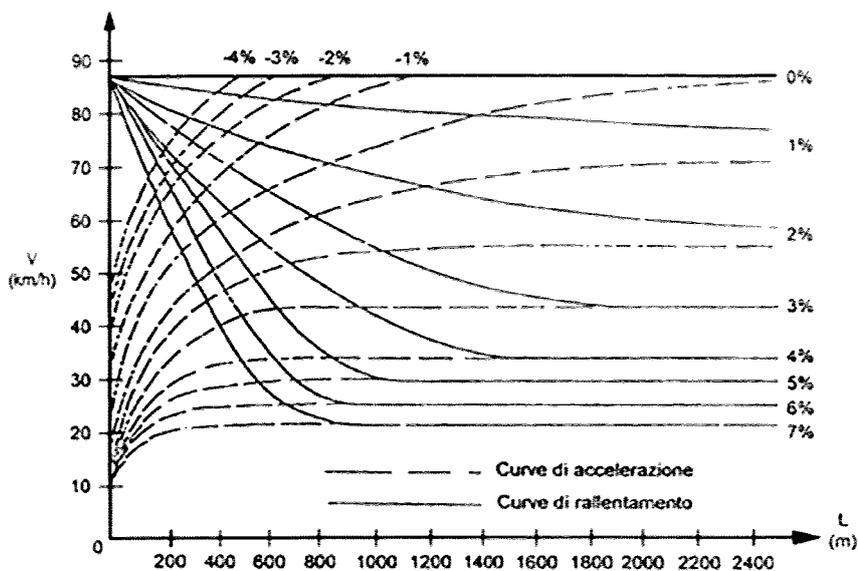


Figura 2: Abaco per $W/N = 0,55$

Calcolo di i per ogni livelletta:

$$i = \frac{Q_f - Q_i}{L}$$

	L [m]	Q_i [m]	Q_f [m]	i [-]
i_1	1000	111	91	-0,02
i_2	900	91	100	0,01
i_3	1200	100	148	0,04
i_4	700	148	148	0,00
i_5	200	148	162	0,07

Velocità finali determinate dal grafico in figura 2:

x [m]	V_f [km/h]
0	40
1000	87
1900	81
3100	36
3800	70
4000	47

La corsia di arrampicamento è necessaria sui seguenti tratti:

- da 0 m a 213 m
- da 2727 m a 3388 m

Esercizio #5 – Spazio di arresto

Un veicolo di peso 14 kN viaggia a una velocità costante di 95 km/h. Calcolare la distanza di frenatura nel caso stia percorrendo una livelletta con pendenza positiva del 3% ($i = 3\%$) in condizioni di pavimentazione bagnata.

Velocità [km/h]	Pavimentazione asciutta	Pavimentazione bagnata
50	0,62	0,36
65	0,60	0,33
80	0,58	0,31
95	0,56	0,30
110	0,55	0,29

Coefficiente di aderenza longitudinale equivalente, f_e

$$v = 95 \frac{km}{h} \Rightarrow f_e = 0.30$$

$$d_f = \frac{v^2}{2g \cdot (f_e \pm i)} = \frac{\left(\frac{95 \text{ m}}{3.6 \text{ s}}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot (0.30 + 0.03)} = 107.5 \text{ m}$$

ESERCITAZIONE 3 – SQUADRE SEPARATE

26 Marzo 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

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

$$P = m \cdot g = \frac{3400 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1000 \frac{\text{N}}{\text{kN}}} = 33.35 \text{ kN}$$

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

$$R_a = \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot c \cdot S \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.204 \text{ Nm}^{-4}\text{s}^2 \cdot 0.90 \cdot 10.7 \text{ m}^2 \cdot \left(\frac{80 \text{ m}}{3.6 \text{ s}}\right)^2 = 2862.84 \text{ N}$$

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

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

$$R_{ord,(\pm p)} = R_{ord} \pm p[\%] \cdot P$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- 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

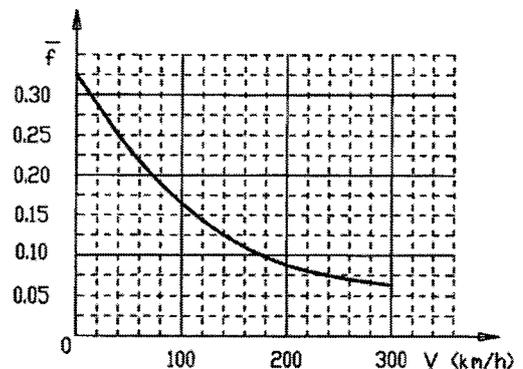


Figura 1: Coefficiente ruota-ruota in funzione della velocità

Svolgimento

$$i_{max} = \min(i'_{max}; i''_{max})$$

$$i'_{max} = \frac{\frac{W_{max}}{V}}{P} - r_{ord,TP} = \frac{\frac{6600 \text{ kW}}{160 \text{ m}} \cdot 1000 \frac{N}{kN}}{\frac{3.6 \text{ s}}{6052.77 \text{ kN}}} - 6.67 \frac{N}{kN} = 17.9 \%$$

$$m_{tot} = 89000 \text{ kg} + 12 \cdot 36000 \text{ kg} + 12 \cdot 100 \cdot 80 \text{ kg} = 617000 \text{ kg}$$

$$P_{tot} = 617000 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 6052770 \text{ N} = 6052.77 \text{ kN}$$

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

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

$$n'_L = \frac{n_V \cdot P_{carro, TM} \cdot (r_{ord, C, TM} + i + r_c)}{\frac{W}{V} - P_L \cdot (r_{ord, L, TM} + i + r_c)} =$$

$$= \frac{35 \cdot 392.4 \text{ kN} \cdot \left(8.26 \frac{N}{kN} + 6.3 \frac{N}{kN}\right)}{\frac{3600 \text{ kW}}{\frac{120 \text{ m}}{3.6 \text{ s}}} \cdot 1000 \frac{N}{kN} - 706.32 \text{ kN} \cdot \left(10.2 \frac{N}{kN} + 6.3 \frac{N}{kN}\right)} = 2.08$$

$$n''_L = \frac{n_V \cdot P_{carro, TM} \cdot (r_{ord, C, TM} + i + r_c)}{P_a \cdot f_a - P_L \cdot (r_{ord, L, TM} + i + r_c)} =$$

$$= \frac{35 \cdot 392.4 \text{ kN} \cdot \left(8.26 \frac{N}{kN} + 6.3 \frac{N}{kN}\right)}{0.1125 \cdot 706320 \text{ N} - 706.32 \text{ kN} \cdot \left(10.2 \frac{N}{kN} + 6.3 \frac{N}{kN}\right)} = 2.95$$

$$n'_L = 2.08\%$$

$$\Rightarrow n_{L, max} = \max(n'_L; n''_L) = n''_L = 2.95 \Rightarrow 3 \text{ locomotori}$$

$$n''_L = 2.95\%$$

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);
- $m = 56.000 \text{ kg}_m$;
- $S = 6 \text{ m}^2$;
- $c = 0,9$;
- $\varrho = 1,204 \text{ [Nm}^{-4}\text{s}^2]$ ($T = 20^\circ\text{C}$, $p = 1 \text{ bar}$);
- $\beta = 1,1$.

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)

- $P_a = P$
- $r_R = 20 \text{ N/kN}$
- $\beta = 1,1$
- $\gamma = 1,15 \text{ kg/m}^3$

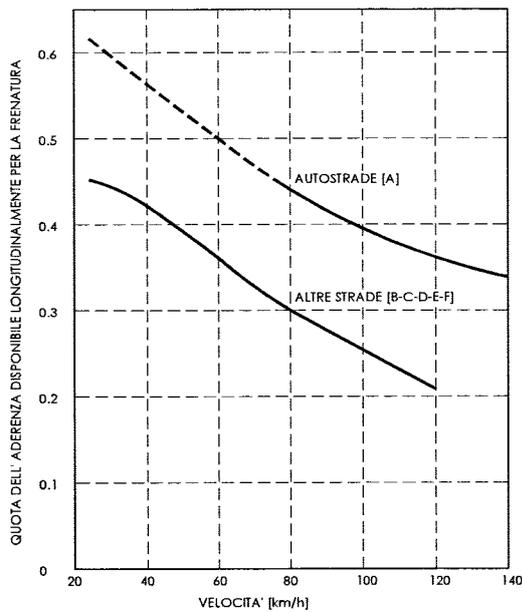


Figura 3: Coefficiente di aderenza longitudinale

PER LE ALTRE STRADE

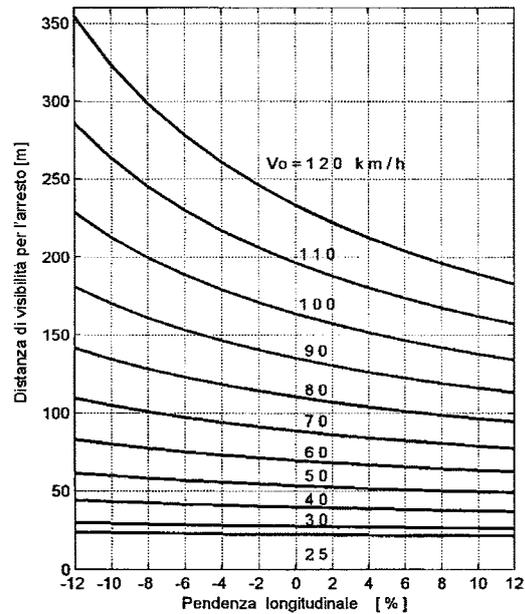


Figura 4: Distanza di visibilità per l'arresto

Svolgimento

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

80 km/h

$$t_{pr} = 2.8 - 0.01 V = 2.8 - 0.01 \cdot 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 2 \text{ s}$$

$$d_{pr} = \frac{80 \text{ m}}{3.6 \text{ s}} \cdot 2 \text{ s} = 44.4 \text{ m}$$

$$f_e = \frac{f_{a,L} + r_R}{\beta} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \delta \cdot C \cdot S \cdot v^2}{\beta \cdot P_a} = \frac{0.3 + 0.02}{1.1} + \frac{\frac{1}{2} \cdot 1.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.35 \cdot 2.1 \text{ m}^2 \cdot \left(\frac{80 \text{ m}}{3.6 \text{ s}}\right)^2}{1.1 \cdot 12258.75 \text{ N}} = 0.31$$

$$t_{pr} = 2.8 - 0.01 V = 2.8 - 0.01 \cdot 120 \frac{km}{h} = 1.6 s$$

$$d_{pr} = \frac{120 m}{3.6 s} \cdot 1.6 s = 53.3 m$$

$$f_e = \frac{f_{a,L} + r_R}{\beta} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \delta \cdot C \cdot S \cdot v^2}{\beta \cdot P_a} = \frac{0.21 + 0.02}{1.1} + \frac{\frac{1}{2} \cdot 1.15 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.35 \cdot 2.1 m^2 \cdot \left(\frac{120 m}{3.6 s}\right)^2}{1.1 \cdot 12258.75 N} = 0.24$$

$$d_{f,+3\%} = \frac{v^2}{2g \cdot (f_e \pm i)} = \frac{\left(\frac{120 m}{3.6 s}\right)^2}{2 \cdot 9.807 \frac{m}{s^2} \cdot (0.24 + 0.03)} = 209.8 m$$

$$d_{f,-4\%} = \frac{v^2}{2g \cdot (f_e \pm i)} = \frac{\left(\frac{120 m}{3.6 s}\right)^2}{2 \cdot 9.807 \frac{m}{s^2} \cdot (0.24 - 0.04)} = 283.2 m$$

$$d_{a,+3\%} = 50 m + 209.8 m = 259.8 m$$

$$d_{a,-4\%} = 50 m + 283.2 m = 333.2 m$$

$$d_{a,+3\%}(abaco) = 220 m$$

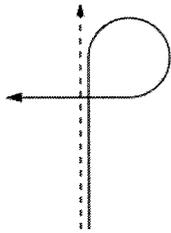
$$d_{a,-4\%}(abaco) = 260 m$$

ESERCITAZIONE 4 – SQUADRE RIUNITE

4 aprile 2015

Esercizio #1 – Occupazione di mezzi pesanti

Individuare la larghezza minima della corsia della rampa di cappio di uno svincolo autostradale interessata dal passaggio di un autoarticolato avente le caratteristiche tecniche riportate in **Figura 1**.



rampa di cappio

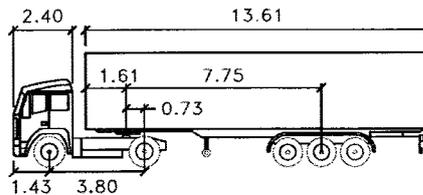


Figura 1: autoarticolato a tre assi

Si supponga che l'asse sterzante segua una traiettoria di raggio R pari a 40 m e che il veicolo abbia una larghezza $L_R = L = 255$ cm.

Svolgimento:

$$D_R = 7.75 \text{ m}$$

$$D = 3.80 - 0.73 = 3.07 \text{ m}$$

$$S_a = 1.43 \text{ m}$$

$$\begin{cases} \left(R_i + \frac{L_R}{2}\right)^2 + D_R^2 = R_1^2 \\ \left(R_i + \frac{L}{2}\right)^2 + (D + S_a)^2 = R_e^2 \\ R_i^2 + D^2 = R^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_1 = \sqrt{R^2 - D^2} = \sqrt{40^2 - 3.07^2} = 39.9 \text{ m} \\ R_i = \sqrt{R_1^2 - D_R^2} - \frac{L_R}{2} = \sqrt{39.9^2 - 7.75^2} - \frac{2.55 \text{ m}}{2} = 37.8 \text{ m} \\ R_e = \sqrt{\left(R_1 + \frac{L}{2}\right)^2 + (D + S_a)^2} = \sqrt{\left(39.9 - \frac{2.55 \text{ m}}{2}\right)^2 + (3.07 + 1.43)^2} = 41.40 \text{ m} \end{cases}$$

$$B = R_e - R_i = 41.40 - 37.85 = 3.55 \text{ m}$$

$$V = 89.3 \frac{km}{h}$$

Esercizio #3 – Progetto di curve ferroviarie

Individuare il raggio minimo R_{min} e la sopraelevazione massima H_{max} di una linea ferroviaria per la quale è stato adottato il seguente modello di esercizio:

- $V_{max} = 180 \text{ km/h}$;
- $V_{min} = 90 \text{ km/h}$;
- $a_{c,nc} = 0,6 \text{ m/s}^2$;
- $a'c = 0,65 \text{ m/s}^2$.

$$R_{min} = \frac{V_{max}^2 - V_{min}^2}{g(e + j)} d$$

$$e = \frac{a'_c}{g} d = \frac{0.65}{9.81} 1500 \text{ mm} = 99.4 \text{ mm}$$

$$e = \frac{a_{c,nc}}{g} d = \frac{0.6}{9.81} 1500 \text{ mm} = 91.8 \text{ mm}$$

$$R_{min} = \frac{V_{max}^2 - V_{min}^2}{g(e + j)} d = \frac{\left(\frac{180}{3.6}\right)^2 - \left(\frac{90}{3.6}\right)^2}{9.81(99.4 + 91.8)} 1500 = 1499.9 \text{ m}$$

$$H_{max} = (e + j) \frac{V_{max}^2}{V_{max}^2 - V_{min}^2} - j = (99.4 + 91.8) \frac{\left(\frac{180}{3.6}\right)^2}{\left(\frac{180}{3.6}\right)^2 - \left(\frac{90}{3.6}\right)^2} - 91.8 = 163.1 \text{ m}$$

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

Svolgimento

Per la risoluzione di questo esercizio si è deciso di ricorrere, oltre al foglio di calcolo del programma Excel, anche al programma Autocad.

Per ogni direzione dell'asse della pista si sono eseguite le somme delle frequenze dei venti che spirano in quella direzione, nella porzione compresa nei 24 km/h di velocità, che è il valore limite di vento trasversale ammissibile. L'obiettivo è trovare la pista che abbia la percentuale più alta di vento nella direzione longitudinale e che tale percentuale sia maggiore del 96%, in caso contrario di individuare la pista secondaria.

Legenda delle tabelle di calcolo:

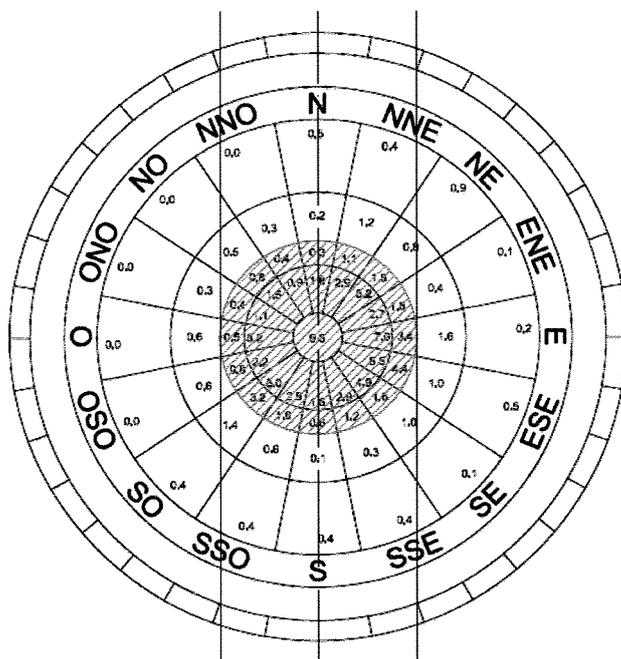
In verde si sono scritte le frequenze dei venti con velocità < 24 km/h (che sono sempre computate nel calcolo).

In blu sono segnate le frequenze dei venti il cui "spicchio" è interamente contenuto nella direzione considerata (quindi con fattore moltiplicativo di area pari a 1,00).

In rosso sono scritte le frequenze computate in maniera parziale, in quanto l'area del diagramma di tali frequenze va considerato solo nella percentuale interna nella direzione considerata.

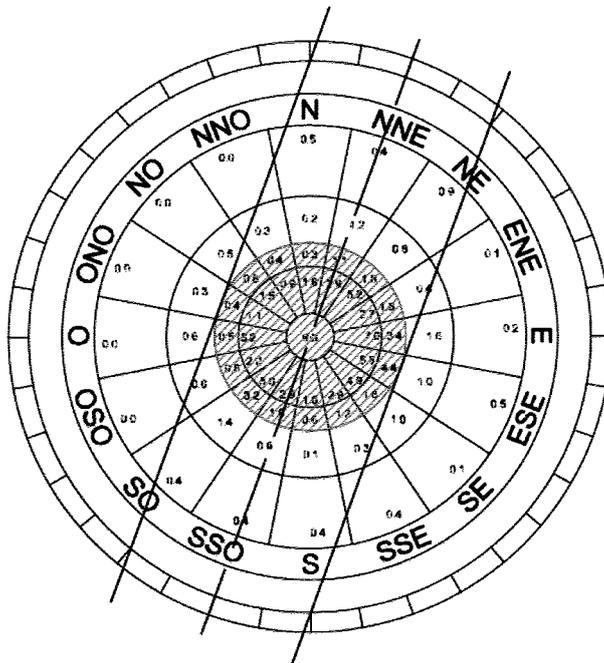
Le frequenze ~~barrate~~ sono quelle che rimangono fuori dalla direzione considerata e non rientrano nel calcolo finale della percentuale di vento (con fattore di area pari a 0,00)

Direzione 36/18



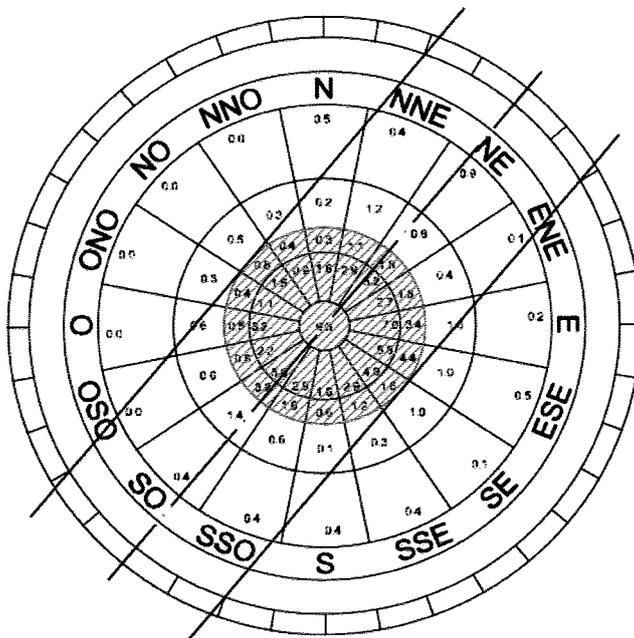
Direzione	6--18	18--24	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	1,00	<u>0,20</u>	0,50	1,00	<u>0,50</u>	2,8
NNE	2,9	1,1	1,20	1,00	<u>1,20</u>	0,40	0,88	<u>0,35</u>	5,6
NE	5,2	1,8	0,80	0,76	<u>0,61</u>	0,90	0,06	<u>0,05</u>	7,7
ENE	2,7	1,8	0,40	0,16	<u>0,06</u>	0,10			4,6
E	7,0	3,4	1,60	0,01	<u>0,02</u>	0,20			10,4
ESE	5,8	4,4	1,00	0,16	<u>0,16</u>	0,50			10,4
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	1,00	<u>0,30</u>	0,40	0,88	<u>0,35</u>	4,8
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	0,88	<u>0,35</u>	5,5
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	0,16	<u>0,10</u>	0,00			3,1
O	3,2	0,5	0,60	0,01	<u>0,01</u>	0,00			3,7
ONO	1,1	0,4	0,30	0,16	<u>0,05</u>	0,00			1,5
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	1,00	<u>0,30</u>	0,00	0,88	<u>0,00</u>	1,6
Calma									<u>9,3</u>
Totale	51,6	23,9							92,7

Direzione 2/20



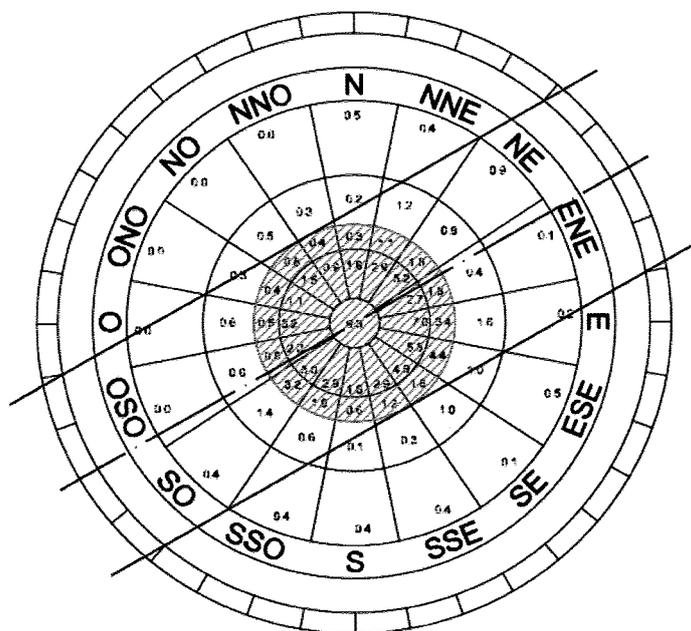
Direzione	6--18	18--24	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	1,00	0,20	0,50	0,94	0,47	2,8
NNE	2,9	1,1	1,20	1,00	1,20	0,40	1,00	0,40	5,6
NE	5,2	1,8	0,80	1,00	0,80	0,90	0,80	0,72	8,5
ENE	2,7	1,8	0,40	0,69	0,28	0,10	0,02	0,00	4,8
E	7,0	3,4	1,60	0,12	0,19	0,20			10,6
ESE	5,8	4,4	1,00	0,01	0,01	0,50			10,2
SE	4,9	1,6	1,00	0,20	0,20	0,10			6,7
SSE	2,9	1,2	0,30	0,83	0,25	0,40	0,10	0,04	4,4
S	1,6	0,6	0,10	1,00	0,10	0,40	0,94	0,38	2,7
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	0,80	0,32	9,9
OSO	2,2	0,8	0,60	0,69	0,41	0,00	0,02	0,00	3,4
O	3,2	0,5	0,60	0,12	0,07	0,00			3,8
ONO	1,1	0,4	0,30	0,01	0,00	0,00			1,5
NO	1,5	0,8	0,50	0,20	0,10	0,00			2,4
NNO	0,9	0,4	0,30	0,83	0,25	0,00	0,10	0,00	1,5
Calma									9,3
Totale	51,6	23,9							93,6

Direzione 4/22



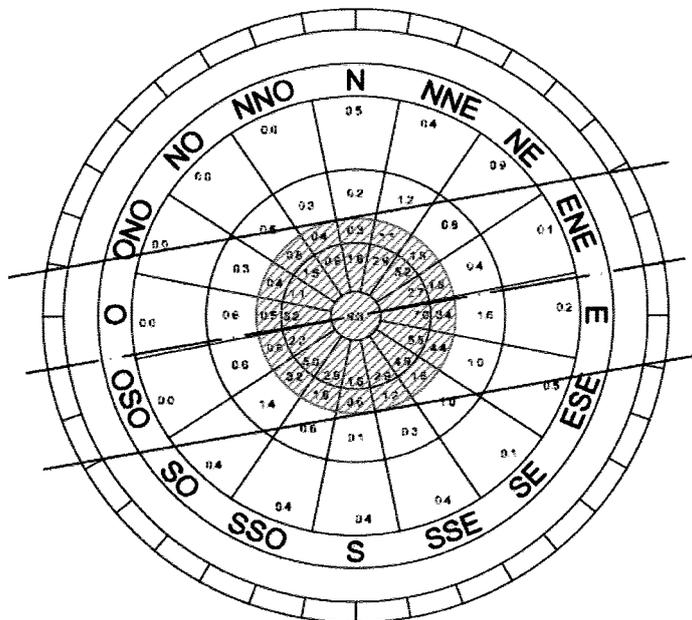
Direzione	6--18	18--24	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	0,89	0,18	0,50	0,17	0,09	2,4
NNE	2,9	1,1	1,20	1,00	1,20	0,40	0,99	0,40	5,6
NE	5,2	1,8	0,80	1,00	0,80	0,90	1,00	0,90	8,7
ENE	2,7	1,8	0,40	1,00	0,40	0,10	0,71	0,07	5,0
E	7,0	3,4	1,60	0,61	0,98	0,20	0,01	0,00	11,4
ESE	5,8	4,4	1,00	0,09	0,09	0,50			10,3
SE	4,9	1,6	1,00	0,02	0,02	0,10			6,5
SSE	2,9	1,2	0,30	0,24	0,07	0,40			4,2
S	1,6	0,6	0,10	0,89	0,09	0,40	0,17	0,07	2,4
SSO	2,9	1,6	0,60	1,00	0,60	0,40	0,99	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	1,00	0,60	0,00	0,71	0,00	3,6
O	3,2	0,5	0,60	0,61	0,37	0,00	0,01	0,00	4,1
ONO	1,1	0,4	0,30	0,09	0,03	0,00			1,5
NO	1,5	0,8	0,50	0,02	0,01	0,00			2,3
NNO	0,9	0,4	0,30	0,24	0,07	0,00			1,4
Calma									9,3
Totale	51,6	23,9							94,0

Direzione 6/24



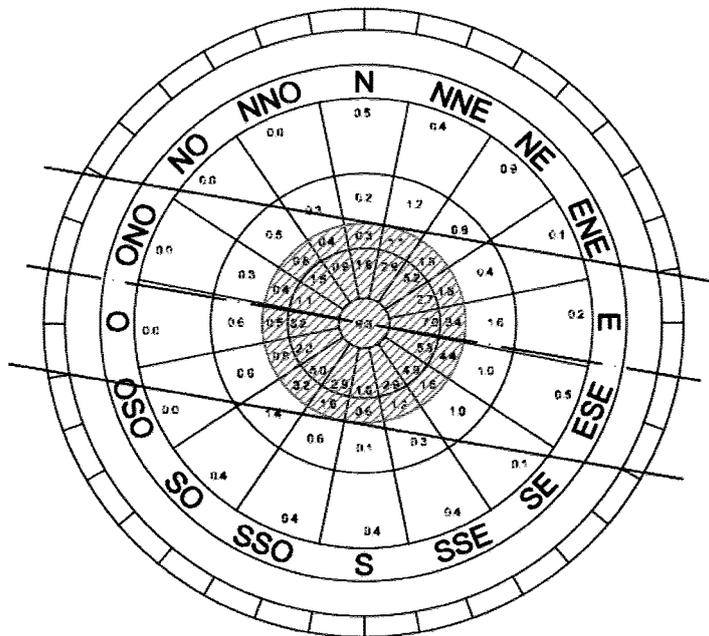
Direzione	6--18	18--24	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	0,30	<u>0,06</u>	0,50			2,2
NNE	2,9	1,1	1,20	0,94	<u>1,13</u>	0,40	0,27	<u>0,11</u>	5,2
NE	5,2	1,8	0,80	1,00	<u>0,80</u>	0,90	1,00	<u>0,90</u>	8,7
ENE	2,7	1,8	0,40	1,00	<u>0,40</u>	0,10	1,00	<u>0,10</u>	5,0
E	7,0	3,4	1,60	1,00	<u>1,60</u>	0,20	0,60	<u>0,12</u>	12,1
ESE	5,8	4,4	1,00	0,52	<u>0,52</u>	0,50	0,00	<u>0,00</u>	10,7
SE	4,9	1,6	1,00	0,07	<u>0,07</u>	0,10			6,6
SSE	2,9	1,2	0,30	0,03	<u>0,01</u>	0,40			4,1
S	1,6	0,6	0,10	0,30	<u>0,03</u>	0,40			2,2
SSO	2,9	1,6	0,60	0,94	<u>0,56</u>	0,40	0,27	<u>0,11</u>	5,2
SO	5,0	3,2	1,40	1,00	<u>1,40</u>	0,40	1,00	<u>0,40</u>	10,0
OSO	2,2	0,8	0,60	1,00	<u>0,60</u>	0,00	1,00	<u>0,00</u>	3,6
O	3,2	0,5	0,60	1,00	<u>0,60</u>	0,00	0,60	<u>0,00</u>	4,3
ONO	1,1	0,4	0,30	0,52	<u>0,16</u>	0,00	0,00	<u>0,00</u>	1,7
NO	1,5	0,8	0,50	0,07	<u>0,04</u>	0,00			2,3
NNO	0,9	0,4	0,30	0,03	<u>0,01</u>	0,00			1,3
Calma									<u>9,3</u>
Totale	51,6	23,9							94,5

Direzione 8/26



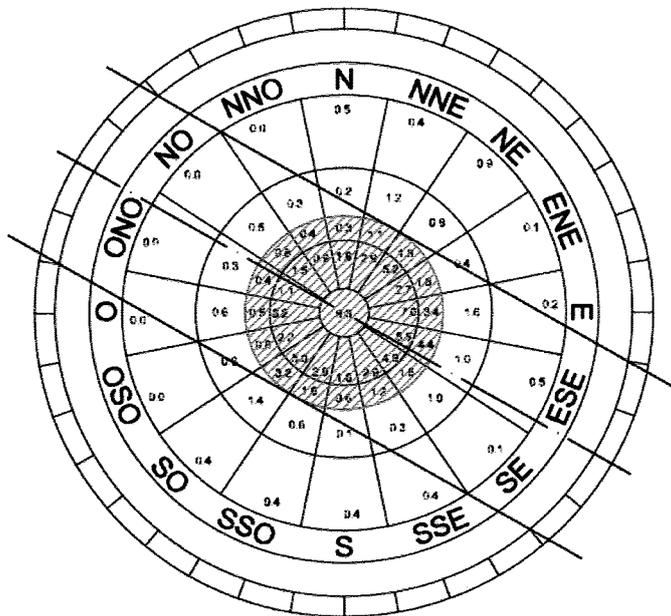
Direzione	6--18	18--24	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	0,04	<u>0,01</u>	0,50			2,1
NNE	2,9	1,1	1,20	0,36	<u>0,43</u>	0,40			4,4
NE	5,2	1,8	0,80	0,97	<u>0,78</u>	0,90	0,38	<u>0,34</u>	8,1
ENE	2,7	1,8	0,40	1,00	<u>0,40</u>	0,10	1,00	<u>0,10</u>	5,0
E	7,0	3,4	1,60	1,00	<u>1,60</u>	0,20	1,00	<u>0,20</u>	12,2
ESE	5,8	4,4	1,00	0,99	<u>0,99</u>	0,50	0,49	<u>0,25</u>	11,4
SE	4,9	1,6	1,00	0,43	<u>0,43</u>	0,10			6,9
SSE	2,9	1,2	0,30	0,05	<u>0,02</u>	0,40			4,1
S	1,6	0,6	0,10	0,04	<u>0,00</u>	0,40			2,2
SSO	2,9	1,6	0,60	0,36	<u>0,22</u>	0,40			4,7
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	1,00	<u>0,60</u>	0,00	1,00	<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	0,99	<u>0,30</u>	0,00	0,49	<u>0,00</u>	1,8
NO	1,5	0,8	0,50	0,43	<u>0,22</u>	0,00			2,5
NNO	0,9	0,4	0,30	0,05	<u>0,02</u>	0,00			1,3
Calma									<u>9,3</u>
Totale	<u>51,6</u>	<u>23,9</u>							93,8

Direzione 10/28



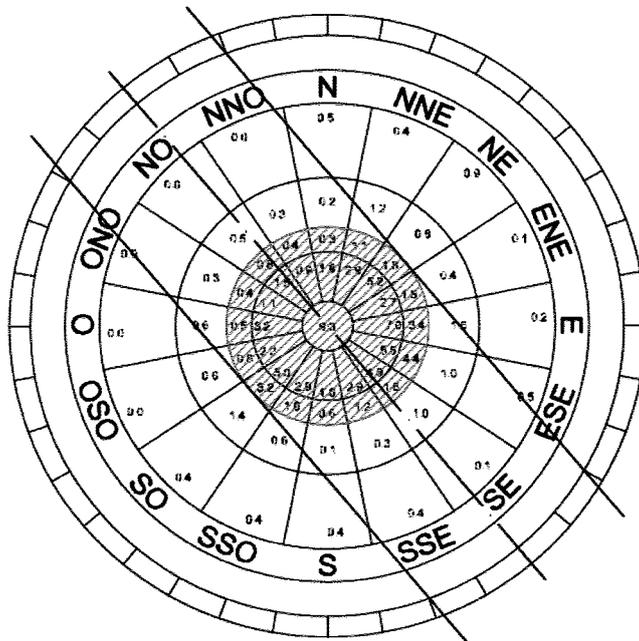
Direzione	6-18	18-24	24-36	Fattore area		36-54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	0,04	0,01	0,50			2,1
NNE	2,9	1,1	1,20	0,05	0,06	0,40			4,1
NE	5,2	1,8	0,80	0,43	0,34	0,90			7,3
ENE	2,7	1,8	0,40	0,99	0,40	0,10	0,49	0,05	4,9
E	7,0	3,4	1,60	1,00	1,60	0,20	1,00	0,20	12,2
ESE	5,8	4,4	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	11,7
SE	4,9	1,6	1,00	0,97	0,97	0,10	0,38	0,04	7,5
SSE	2,9	1,2	0,30	0,36	0,11	0,40			4,2
S	1,6	0,6	0,10	0,04	0,00	0,40			2,2
SSO	2,9	1,6	0,60	0,05	0,03	0,40			4,5
SO	5,0	3,2	1,40	0,43	0,60	0,40			8,8
OSO	2,2	0,8	0,60	0,99	0,59	0,00	0,49	0,00	3,6
O	3,2	0,5	0,60	1,00	0,60	0,00	1,00	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	0,97	0,49	0,00	0,38	0,00	2,8
NNO	0,9	0,4	0,30	0,36	0,11	0,00			1,4
Calma									9,3
Totale	51,6	23,9							92,8

Direzione 12/30



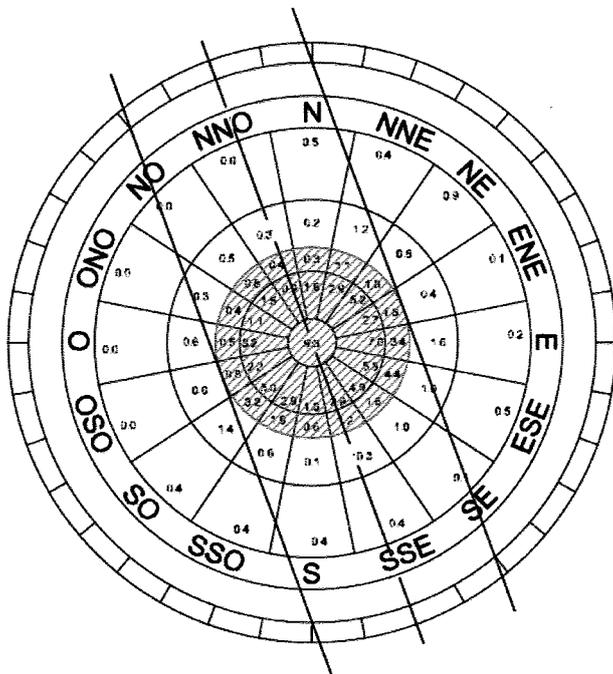
Direzione	6-18	18-24	24-36	Fattore area		36-54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	0,30	0,06	0,50			2,2
NNE	2,9	1,1	1,20	0,02	0,02	0,40			4,0
NE	5,2	1,8	0,80	0,07	0,06	0,90			7,1
ENE	2,7	1,8	0,40	0,52	0,21	0,10	0,00	0,00	4,7
E	7,0	3,4	1,60	1,00	1,60	0,20	0,60	0,12	12,1
ESE	5,8	4,4	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,50	11,7
SE	4,9	1,6	1,00	1,00	1,00	0,10	1,00	0,10	7,6
SSE	2,9	1,2	0,30	0,94	0,28	0,40	0,27	0,11	4,5
S	1,6	0,6	0,10	0,30	0,03	0,40			2,2
SSO	2,9	1,6	0,60	0,02	0,01	0,40			4,5
SO	5,0	3,2	1,40	0,07	0,10	0,40			8,3
OSO	2,2	0,8	0,60	0,52	0,31	0,00	0,00	0,00	3,3
O	3,2	0,5	0,60	1,00	0,60	0,00	0,60	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	0,94	0,28	0,00	0,27	0,00	1,6
Calma									9,3
Totale	51,6	23,9							92,0

Direzione 14/32



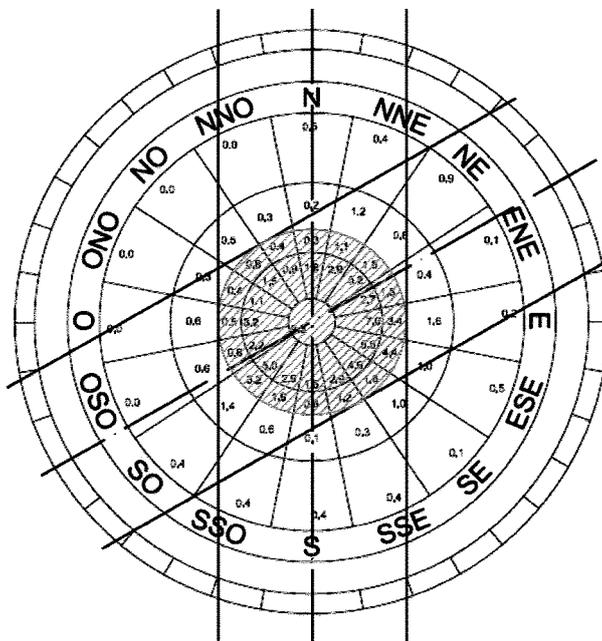
Direzione	6-18	18-24	24-36	Fattore area		36-54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	0,89	0,18	0,50	0,17	0,09	2,4
NNE	2,9	1,1	1,20	0,24	0,29	0,40			4,3
NE	5,2	1,8	0,80	0,02	0,02	0,90			7,0
ENE	2,7	1,8	0,40	0,09	0,04	0,10			4,5
E	7,0	3,4	1,60	0,61	0,98	0,20	0,01	0,00	11,4
ESE	5,8	4,4	1,00	1,00	1,00	0,50	0,71	0,36	11,6
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	0,99	0,40	4,8
S	1,6	0,6	0,10	0,89	0,09	0,40	0,17	0,07	2,4
SSO	2,9	1,6	0,60	0,24	0,14	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	0,09	0,05	0,00			3,1
O	3,2	0,5	0,60	0,61	0,37	0,00	0,01	0,00	4,1
ONO	1,1	0,4	0,30	1,00	0,30	0,00	0,71	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	0,99	0,00	1,6
Calma									9,3
Totale	51,6	23,9							91,4

Direzione 16/34



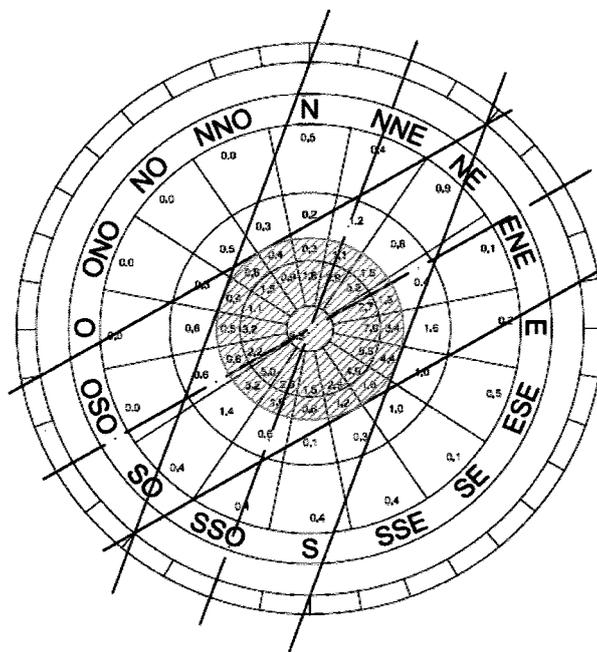
Direzione	6--18	18--24	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	1,8	0,3	0,20	1,00	<u>0,20</u>	0,50	0,94	<u>0,47</u>	2,8
NNE	2,9	1,1	1,20	0,83	<u>1,00</u>	0,40	0,10	<u>0,04</u>	5,0
NE	5,2	1,8	0,80	0,20	<u>0,16</u>	0,90			7,2
ENE	2,7	1,8	0,40	0,01	<u>0,00</u>	0,10			4,5
E	7,0	3,4	1,60	0,12	<u>0,19</u>	0,20			10,6
ESE	5,8	4,4	1,00	0,69	<u>0,69</u>	0,50	0,02	<u>0,01</u>	10,9
SE	4,9	1,6	1,00	1,00	<u>1,00</u>	0,10	0,80	<u>0,08</u>	7,6
SSE	2,9	1,2	0,30	1,00	<u>0,30</u>	0,40	1,00	<u>0,40</u>	4,8
S	1,6	0,6	0,10	1,00	<u>0,10</u>	0,40	0,94	<u>0,38</u>	2,7
SSO	2,9	1,6	0,60	0,83	<u>0,50</u>	0,40	0,10	<u>0,04</u>	5,0
SO	5,0	3,2	1,40	0,20	<u>0,28</u>	0,40			8,5
OSO	2,2	0,8	0,60	0,01	<u>0,01</u>	0,00			3,0
O	3,2	0,5	0,60	0,12	<u>0,07</u>	0,00			3,8
ONO	1,1	0,4	0,30	0,69	<u>0,21</u>	0,00	0,02	<u>0,00</u>	1,7
NO	1,5	0,8	0,50	1,00	<u>0,50</u>	0,00	0,80	<u>0,00</u>	2,8
NNO	0,9	0,4	0,30	1,00	<u>0,30</u>	0,00	1,00	<u>0,00</u>	1,6
Calma									9,3
Totale	51,6	23,9							91,7

Direzione 36/18



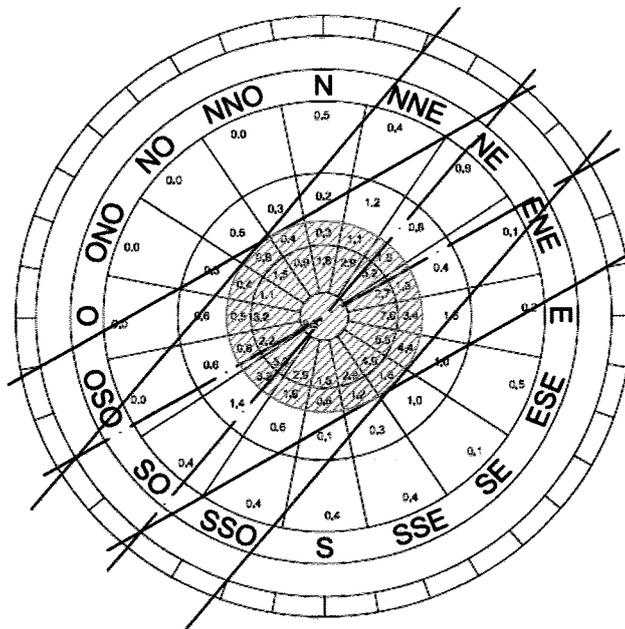
Direzione	24-36	Fattore area		36-54	Fattore area		Totale
N	0,20	0,70	<u>0,14</u>	0,50	1,00	<u>0,50</u>	0,6
NNE	1,20	0,06	<u>0,07</u>	0,40	0,66	<u>0,26</u>	0,3
NE	0,80			0,90			0,0
ENE	0,40			0,10			0,0
E	1,60			0,20			0,0
ESE	1,00	0,01	<u>0,01</u>	0,50			0,0
SE	1,00	0,69	<u>0,69</u>	0,10	0,06	<u>0,01</u>	0,7
SSE	0,30	0,97	<u>0,29</u>	0,40	0,88	<u>0,35</u>	0,6
S	0,10	0,70	<u>0,07</u>	0,40	1,00	<u>0,40</u>	0,5
SSO	0,60	0,06	<u>0,04</u>	0,40	0,66	<u>0,26</u>	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	0,01	<u>0,00</u>	0,00			0,0
NO	0,50	0,69	<u>0,35</u>	0,00	0,06	<u>0,00</u>	0,3
NNO	0,30	0,97	<u>0,29</u>	0,00	0,88	<u>0,00</u>	0,3
Pista principale							94,5
Totale							98,2

Direzione 2/20



Direzione	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	0,20	0,70	<u>0,14</u>	0,50	0,94	<u>0,47</u>	0,6
NNE	1,20	0,06	<u>0,07</u>	0,40	0,73	<u>0,29</u>	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	0,14	<u>0,14</u>	0,10			0,1
SSE	0,30	0,80	<u>0,24</u>	0,40	0,10	<u>0,04</u>	0,3
S	0,10	0,70	<u>0,07</u>	0,40	0,94	<u>0,38</u>	0,4
SSO	0,60	0,06	<u>0,04</u>	0,40	0,73	<u>0,29</u>	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	0,14	<u>0,07</u>	0,00			0,1
NNO	0,30	0,80	<u>0,24</u>	0,00	0,10	<u>0,00</u>	0,2
Pista principale							<u>94,5</u>
Totale							97,0

Direzione 4/22



Direzione	24--36	Fattore area		36--54	Fattore area		Totale
N	0,20	0,59	<u>0,12</u>	0,50	0,17	<u>0,09</u>	0,2
NNE	1,20	0,06	<u>0,07</u>	0,40	0,72	<u>0,29</u>	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	0,01	<u>0,01</u>	0,10			0,0
SSE	0,30	0,22	<u>0,07</u>	0,40			0,1
S	0,10	0,59	<u>0,06</u>	0,40	0,17	<u>0,07</u>	0,1
SSO	0,60	0,06	<u>0,04</u>	0,40	0,72	<u>0,29</u>	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	0,01	<u>0,01</u>	0,00			0,0
NNO	0,30	0,22	<u>0,07</u>	0,00			0,1
Pista principale							94,5
Totale							95,7