

# Insegnamento di **Fondamenti di Infrastrutture viarie**

Territorio ed infrastrutture di trasporto

La meccanica della locomozione: questioni generali

Il fenomeno dell'aderenza e l'equazione generale del moto

Dall'equazione generale del moto alle caratteristiche di moto

Sistemi di trazione e motori di trazione

Trazione ferroviaria: studio di una fase completa di moto

**Trazione stradale: studio di una fase completa di moto**

La frenatura in ferrovia e su strada

Legislazione e Normativa

Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade

Andamento planimetrico di un tracciato stradale:

1) elementi del tracciato planimetrico, rettilinei e curve circolari,  
pendenza trasversale in curva, curve a raggio variabile

2) allargamento in curva e diagramma di velocità

Distanze di visibilità e andamento altimetrico di un tracciato stradale

Volume del solido stradale: metodi di calcolo

## *Trazione stradale: studio di una fase completa di moto*

# TRAZIONE STRADALE STUDIO DI UNA FASE COMPLETA DI MOTO

Le caratteristiche meccaniche di potenza e coppia di un motore a combustione interna presentano un andamento (come riportato in figura) tale da richiedere un variatore di coppia (cambio) per avvicinarla alla caratteristica del motore ideale.

Indicato con  $C_m$  e  $n_m$  rispettivamente coppia e  $n^\circ$  di giri del motore e con  $C_r$  e  $n_r$  rispettivamente coppia e  $n^\circ$  di giri delle ruote, in generale la potenza  $P$  [W] è data dal prodotto della coppia [N m] per la velocità angolare cioè da:  $2 \pi n / 60$  [rad / sec].

Indicate con  $P_m$  e  $P_r$  rispettivamente la potenza motrice e la potenza alle ruote, si ha:

$$P_m = C_m n_m = C_m n_m 2 \pi / 60 \text{ [W]} \quad \text{e} \quad P_r = \eta_t P_m \text{ [W]}$$

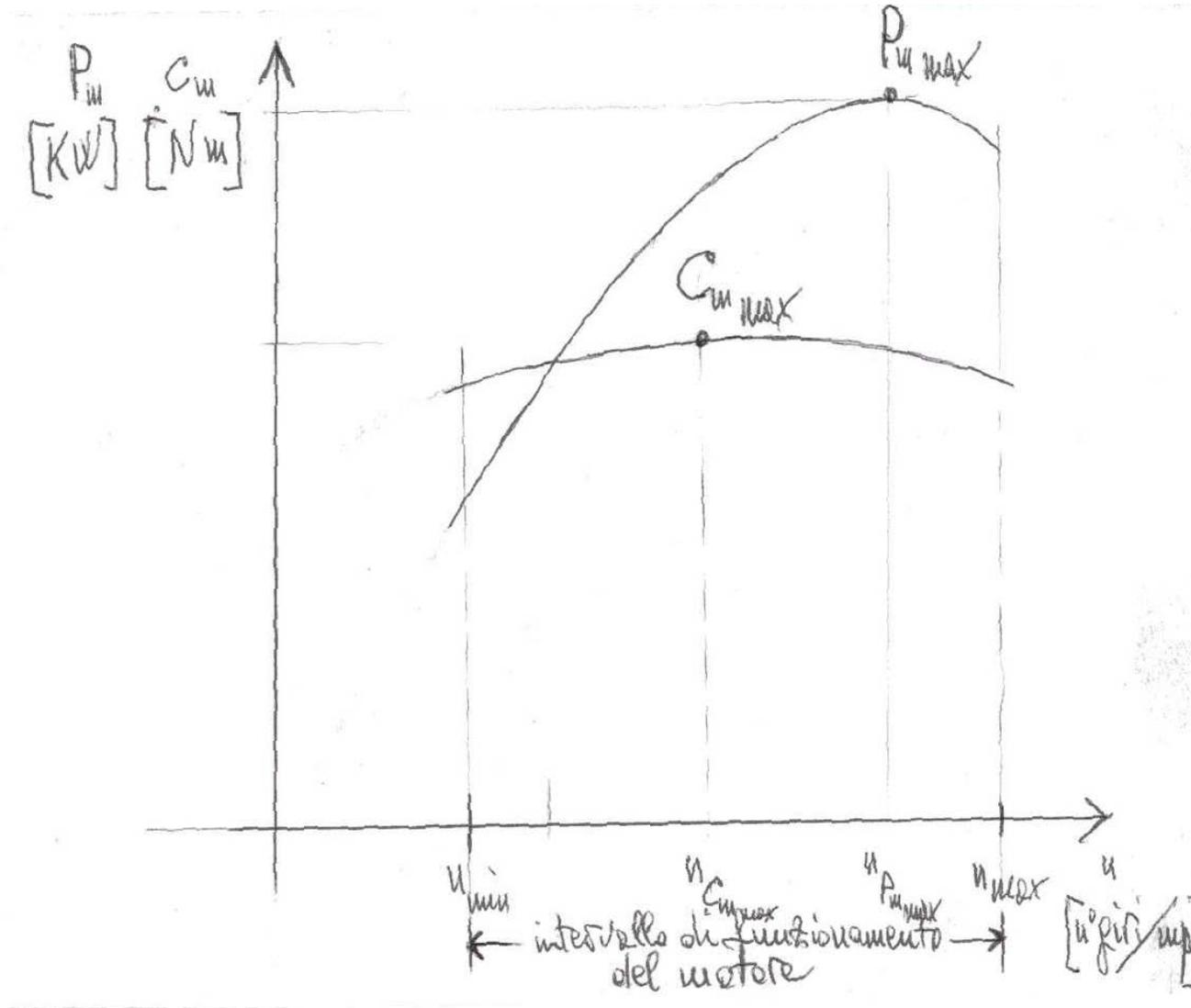
Si ricorda che il rendimento  $\eta_t$  della trasmissione è il rapporto tra la potenza uscente ( $P_r$ ) e la potenza entrante ( $P_m$ ); è quindi dato dal prodotto del rendimento  $\eta_c$  del cambio (variabile con le diverse marce) per il rendimento  $\eta_p$  del ponte.

In ogni istante quindi deve sussistere l'eguaglianza:

$$\eta_t P_m = P_r = \eta_t n_m C_m 2 \pi / 60 = C_r n_r = n_r C_r 2 \pi / 60$$

## Trazione stradale

# Andamento della potenza e della coppia



## *Trazione stradale*

# Curve di sforzo e curve di potenza

Dall'espressione precedente si ricava:  $C_r = \eta_t C_m n_m / n_r = \eta_t C_m m_t$  dove con  $m_t$  si è indicato il coefficiente di moltiplicazione della trasmissione ed è dato dal prodotto del coefficiente di moltiplicazione del cambio  $m_c$  (variabile alle diverse marce) per il coefficiente di moltiplicazione del ponte  $m_p$  (fisso).

Si ricorda che sia la coppia motrice  $C_m$  che il rendimento della trasmissione  $\eta_t$  non subiscono grosse variazioni, mentre la coppia alle ruote  $C_r$  subisce ampie variazioni. Pertanto affinché sia sempre verificata la relazione:  $\eta_t P_m = P_r$  occorrerà far fronte alle variazioni di coppia alle ruote  $C_r$  con un variatore di coppia (cambio di cui uno schema riportato in figura).

### *Le curve di sforzo:*

di trazione: una per ogni marcia

di resistenza: una per ogni livelletta

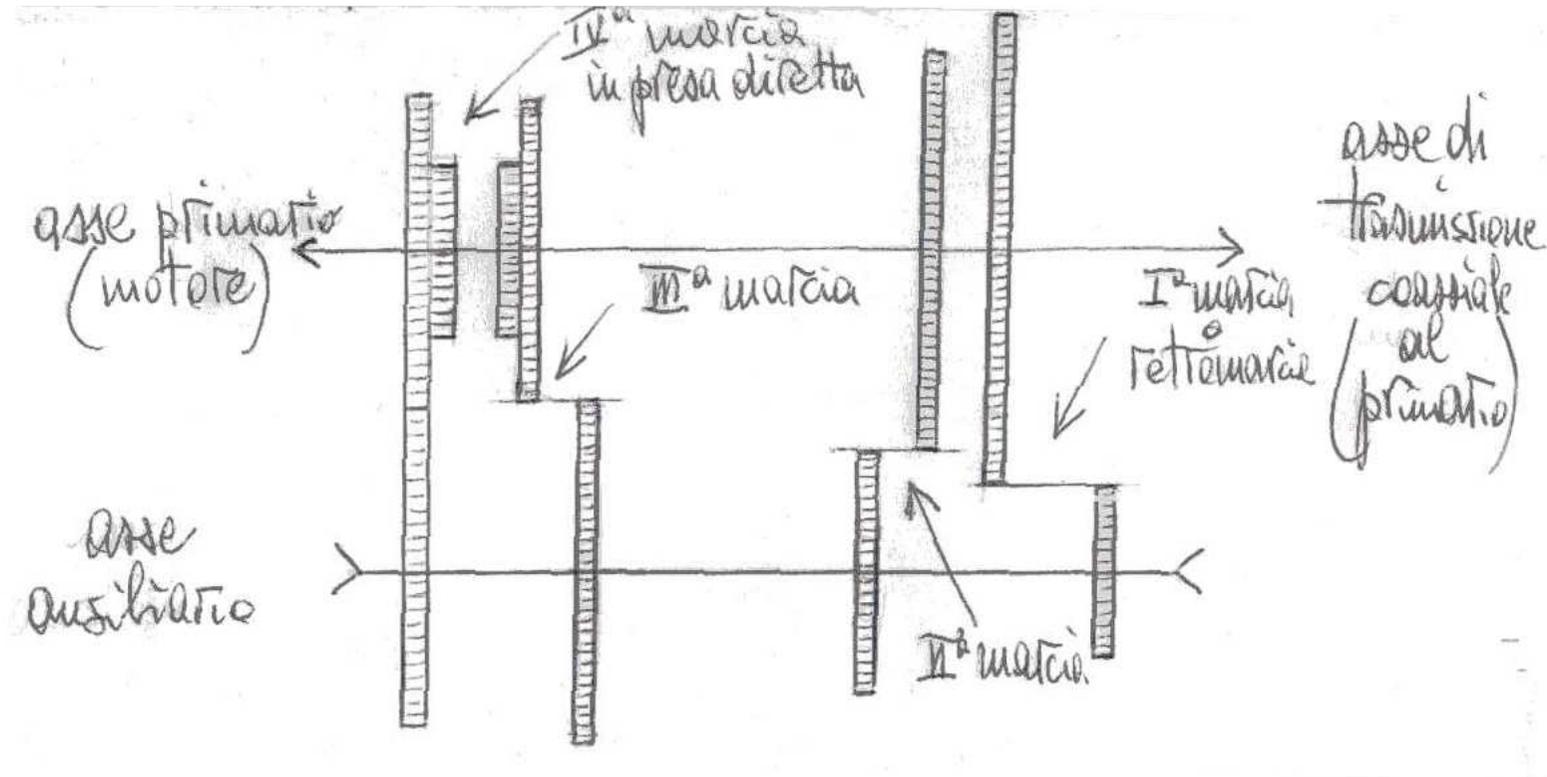
### *Le curve di potenza:*

disponibile (potenza alle ruote): una per ogni marcia

richiesta (potenza resistente): una per ogni livelletta.

## Trazione stradale

### Schema di cambio meccanico a 4 marce



## **Trazione stradale**

# **Curve di sforzo**

Lo sforzo di trazione varia al variare della velocità di traslazione del veicolo ( $v_i$ ) e per ogni marcia (i-esima) è dato dall'espressione:

$$F_t^i(v_i) = \frac{m_t^i C_m}{r} \quad [\text{kN}]$$

dove:  $v_i = \frac{2 \pi r n_m}{60} \text{ m/s}$ ,  $\frac{i}{t} = \frac{i}{c} \frac{p}{p}$ ,  $m_t^i = m_c^i m_p$ ,  $C_m =$  coppia motrice [kW],  $r =$  raggio di rotolamento della ruota [m].

Si avranno pertanto tante curve quante sono le marce del cambio che si posizioneranno lungo la caratteristica del motore ideale (iperbole equilatera) come riportato in figura.

Le resistenze al moto sono date dall'espressione:

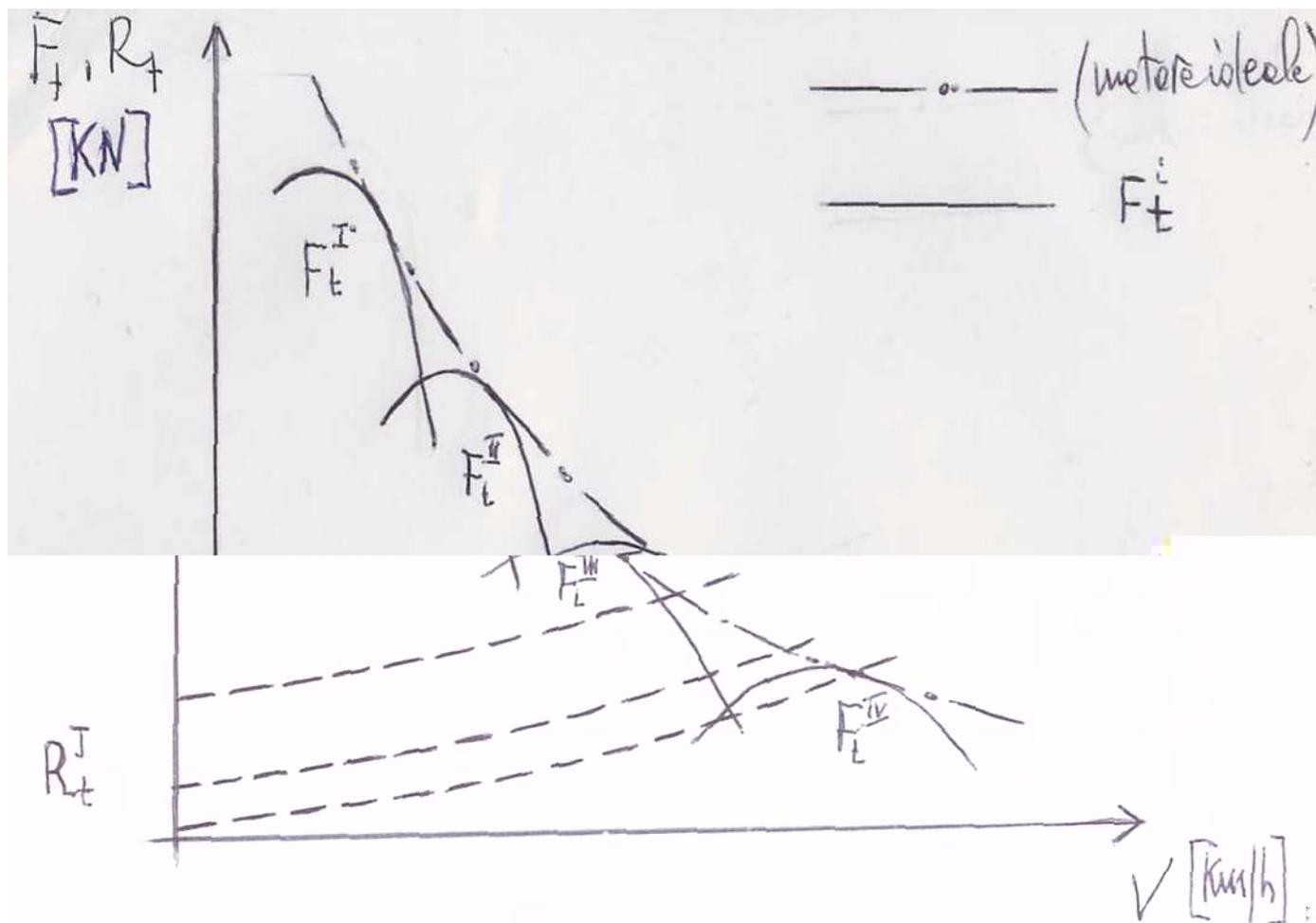
$$R_T^j(v_i) = [a P + b k S V_i^2 + (-) c_j P] / 1000 \quad [\text{kN}]$$

dove:  $v_i = \frac{2 \pi r n_m}{60} \text{ m/s}$ ,  $a =$  resistenze di rotolamento 20 [N/kN],  $b = 0,047$ ,  $k =$  coefficiente di forma: da 0,3 a 0,6 [-],  $S =$  superficie maestra: da 3 a 10 [m<sup>2</sup>],  $V_i =$  velocità [km/h],  $P =$  peso del veicolo [kN] e  $c_j =$  valore della pendenza della livelletta j-esima [1/1000].

Le curve dello sforzo resistente, diverse per ogni livelletta, sono quindi parabole quadratiche tra loro parallele in quanto si differenziano solo per il contributo dovuto alla resistenza addizionale di livelletta come riportato in figura.

## Curve di sforzo

# Andamento delle curve di trazione e di resistenza



## Trazione stradale

# Curve di potenza

La potenza disponibile varia al variare della velocità di traslazione del veicolo ( $v_i$ ) e per ogni marcia (i-esima) è dato dall'espressione:

$$P_D^i(v_i) = \eta_t^i P_m(n_m) \text{ [kW]}.$$

dove:  $v_i = 2 \pi r n_m / 60 \text{ m}_t^i \text{ [m/s]}$ ,  $\eta_t^i = \eta_c^i \eta_p$  e  $P_m = \text{potenza motrice [kW]}$ .

Si avranno pertanto tante curve quante sono le marce del cambio) come riportato in figura.

La potenza richiesta è data dall'espressione:

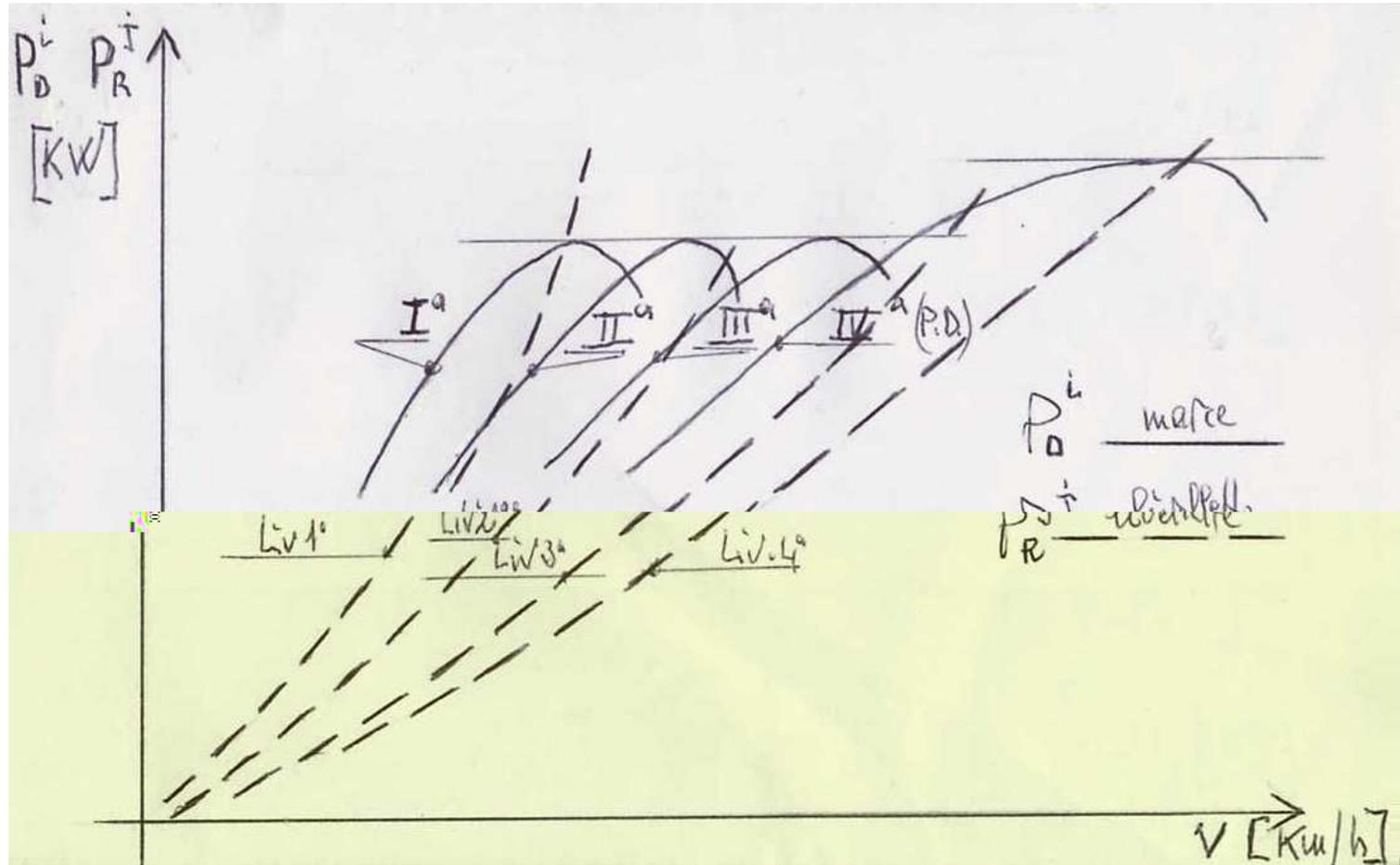
$$P_R^j(v_i) = R_T^j(v_i) v_i \text{ [kW]}.$$

dove:  $v_i = 2 \pi r n_m / 60 \text{ m}_t^i \text{ [m/s]}$  e  $R_T^j(v_i) = [a P + b k S V_i^2 + (-) c_j P] 1 / 1000 \text{ [kN]}$   
con  $a = \text{resistenze di rotolamento } 20 \text{ [N/kN]}$ ,  $b = 0,047$ ,  $k = \text{coefficiente di forma: da } 0,3 \text{ a } 0,6 \text{ [-]}$ ,  $S = \text{superficie maestra: da } 3 \text{ a } 10 \text{ [m}^2\text{]}$ ,  $V_i = \text{velocità [km/h]}$ ,  $P = \text{peso del veicolo [kN]}$  e  $c_j = \text{valore della pendenza della livelletta } j\text{-esima [1/1000]}$ .

Le curve di potenza richiesta, diverse per ogni livelletta, sono quindi parabole cubiche come riportato in figura.

## Curve di potenza

# Andamento delle curve di utilizzazione



## *Trazione stradale*

# Masse equivalenti

Anche per i veicoli stradali l'energia delle masse in rotazione provoca un incremento delle masse statiche ( $M_s$ ) per cui:

$$M_e^i = M_s^i (1 + \mu_i)$$

dove la percentuale d'incremento  $\mu_i$  [%] è data da:  $\mu_i = \mu_1 + \mu_2^i$ , con:

$\mu_1$  = dovuto al rodiggio (ruote) e pari al 4% (0,04)

$\mu_2^i$  = dipendente dal sistema di trasmissione costituito da: motore, cambio, asse di trasmissione, ponte.

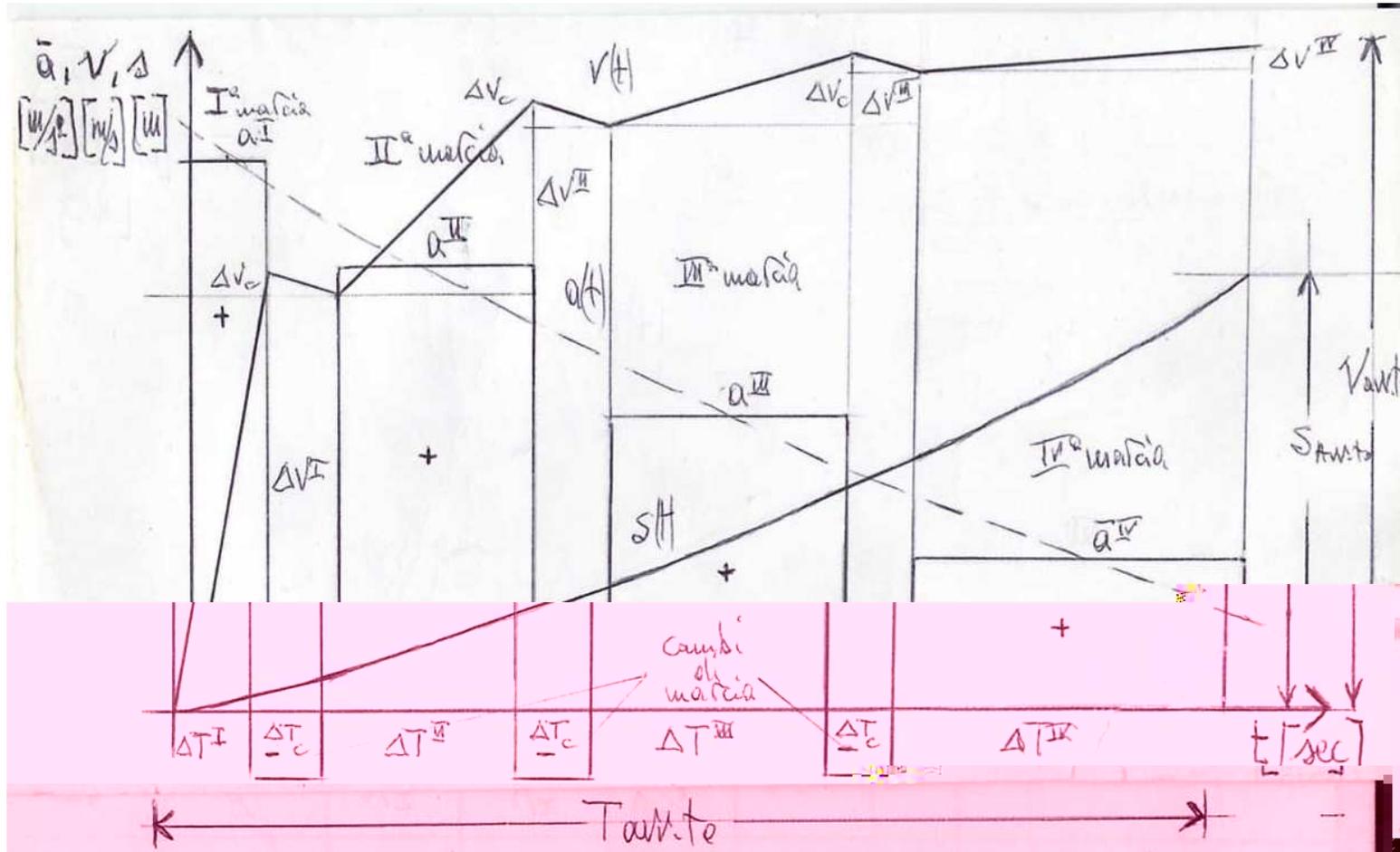
Su strada quindi:

$$\mu_2^i = b / M_s (P_m \max / V_{Pmax}^i) 10^{-2} m_c^2 \text{ [%]}$$

dove la  $P_m \max$  [HP],  $b = 12$  per frizioni meccaniche,  $V_{Pmax}^i$  [km/h].

## Trazione stradale

# Caratteristiche della fase di avviamento



## Trazione stradale

# Studio delle fasi di moto

Fasi moto	$V_I$	$V_F$	$\Delta V$	$V_{in}$	F-R	$M_e$	$\bar{a}$	$\Delta t$	$\Sigma \Delta t$	$\Delta s$	$\Sigma \Delta s$
I <sup>a</sup>	$\emptyset$	$V^I$	$V^I$	$\frac{V^I}{2}$	---	---	---	---	---	---	---
7 <sup>a</sup> - 11 <sup>a</sup>	$V^I$	$V^I \cdot 0,15$	$-0,15 V^I$	---	---	---	0,15	1	---	---	---

12 <sup>a</sup> - 14 <sup>a</sup>	$V_A$	$\emptyset$	$-V_A$	$\frac{V_A}{2}$	---	---	2	---	---	---	---
-----------------------------------	-------	-------------	--------	-----------------	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----

Nei cambi di marcia si decelera per 1 sec con  $\bar{a} = 0,15 \text{ m/s}^2$