

# Controllo laterale di veicoli per il mantenimento automatico della corsia

Note introduttive al problema oggetto della tesina del corso  
**Modellazione dell'incertezza e Controllo Robusto**

D. Regruto

*DAUIN – Politecnico di Torino*

Dicembre 2003

I dati riportati in queste note si riferiscono al lavoro svolto dall'autore in collaborazione con i Professori V. Cerone e M. Milanese del DAUIN e gli Ingegneri S. Campo e A. Chinu del C.R.F. in seno al contratto di ricerca *“Analisi e sintesi di nuove architetture di controllo laterale per il mantenimento della corsia di marcia di un autoveicolo”* stipulato con il Centro Ricerche Fiat il quale ha finanziato la ricerca e fornito l'autoveicolo completo della necessaria strumentazione.

# Definizione generale del problema

**Obiettivo:** Progettare un sistema di controllo in grado di mantenere l'autoveicolo all'interno della corsia di marcia in condizioni autostradali mediante il controllo automatico dello sterzo.

**Motivazione fondamentale:** Riduzione del carico di lavoro fisico e mentale del guidatore \*

\* J. Tanaka, S. Ishida, H. Kawagoe, S. Kondo "Workload of Using a Driver Assistance System", *Proc. of IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, Dearborn, MI, USA, pp. 382-386, 2000.

# Descrizione dell'impianto

L'impianto oggetto del lavoro è una Fiat Brava 1600 ELX dotata del seguente equipaggiamento:

- Sistema di visione: è costituito da una telecamera digitale Matsushita PM200 B/N CCD applicata al vetro anteriore dell'autoveicolo e dall'algoritmo di elaborazione dell'immagine della strada.

- attuatore: motore elettrico DC brush-less TRW-LUCAS dotato di anello locale di controllo progettato dal CRF

(la presenza dell'attuatore verrà trascurata ai fini della tesina)

- Sistema di elaborazione: gli algoritmi di visione e controllo sono processati da un PC per uso industriale dotato di microprocessore INTEL 486.
- Intervallo di campionamento: Il tempo di campionamento per l'intero sistema di controllo è di  $T_s = 40$  ms.

(Ai fini della tesina l'impianto sarà considerato un sistema tempo continuo)

# Costruzione del modello matematico dell'impianto

Due passi:

1. Descrivere la dinamica laterale dell'autoveicolo.
2. Descrivere matematicamente l'interazione veicolo  $\longleftrightarrow$  sistema di visione.

Filosofia seguita: Utilizzare le caratteristiche particolari dei percorsi autostradali per semplificare il modello del sistema.

# Dinamica dell'autoveicolo

Equazioni di equilibrio di forze e momenti (Newton - Eulero)



- Modello matematico non-lineare a 6 d.o.f.
- Dinamica laterale e longitudinale accoppiate.

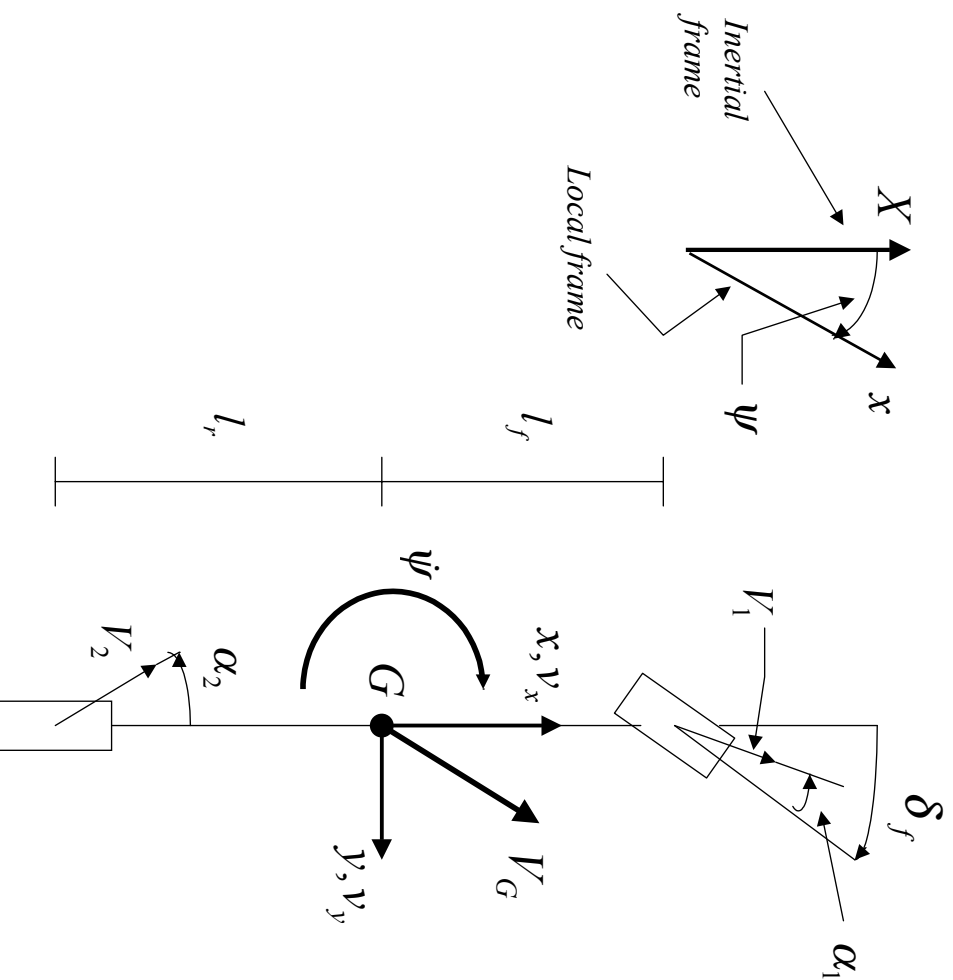
# Semplificazione del modello (1)

Caratteristiche fondamentali dei percorsi autostradali:

- strada piana e regolare;
- curve a largo raggio ( $\gg 500$  m);
- velocità di percorrenza  $\approx$  costante.



## Semplificazione del modello (2)



# **Semplificazione del modello (3) Modello monotraccia (“modello a bicicletta”)\***

Ipotesi semplificative connesse:

1. riduzione del veicolo ad un corpo rigido in moto su un piano (3 d.o.f.);
2. approssimazione del veicolo con modello non-lineare mono-traccia;
3. riduzione al modello monotraccia lineare.

\*M. Guiggiani, “Dinamica del Veicolo” - *Città studi edizioni*, 1999

# Semplificazione del modello (4)

## Modello monotraccia (“modello a bicicletta”)

Ipotesi semplificative connesse:

1.  $\Rightarrow$  dinamiche dovute alle sospensioni trascurabili;
2.  $\Rightarrow$  simmetria longitudinale del veicolo;
3.  $\Rightarrow$  piccoli angoli di sterzo  $\delta_f$  e piccoli angoli di deriva  $\alpha_i$ ;



# Semplificazione del modello (5)

## Modello monotraccia (“modello a bicicletta”)



Il modello monotraccia descrive bene il veicolo se:

- piccoli angoli di deriva  $\alpha_i$  ( $\leftrightarrow$  sterzate dolci);
- piccoli angoli di sterzo  $\delta_f$  ( $\leftrightarrow$  curve a largo raggio);
- la velocità  $v_x \approx$  costante.

⇒ Il modello monotraccia è adeguato a descrivere la dinamica laterale del veicolo lungo percorsi autostradali.

**Equazioni di stato** (parametrizzate in  $v_x$ ):

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_y \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-a_1}{m v v_x} & \frac{-m v v_x^2 + a_2}{m v v_x} \\ \frac{a_3}{I_\psi v_x} & \frac{-a_4}{I_\psi v_x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \delta_v \quad (1)$$

$$a_1 \equiv c_f + c_r$$

$$a_2 \equiv a_3 = c_r l_r - c_f l_f$$

$$a_4 \equiv l_f^2 c_f + l_r^2 c_r$$

$$b_1 \equiv c_f / m v$$

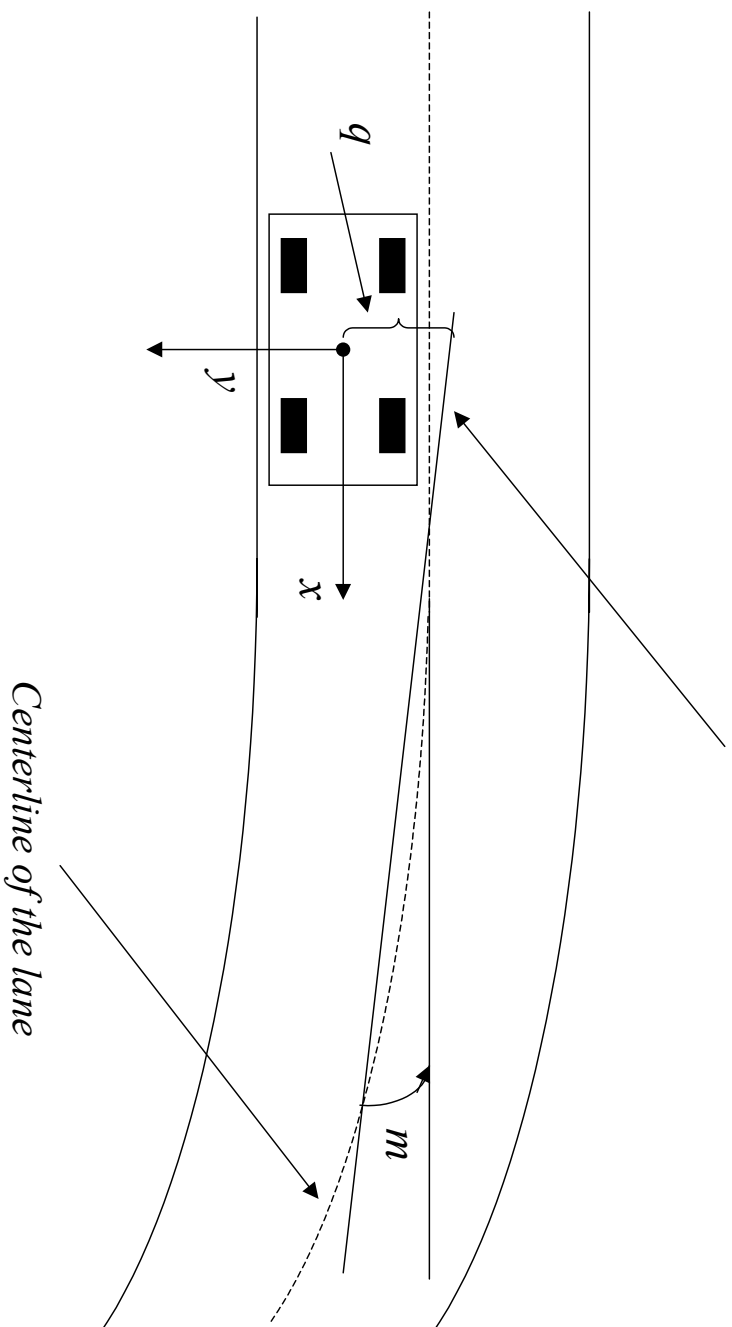
$$b_2 \equiv c_f l_f / I_\psi$$

## Sistema di visione

Fornisce il valore di due parametri caratterizzanti l'approssimazione rettilinea della mezzeria della corsia ( $m$  e  $q$ ):

$$y = \tan(m)x + q \quad (2)$$

*Linear approximation of the centerline of the lane supplied  
by the vision system*



*Centerline of the lane*

Sotto **le stesse ipotesi** alla base del modello monotraccia si possono dedurre le seguenti relazioni tra le misure fornite dal sistema di visione e la dinamica del veicolo:

$$\dot{q}(t) = v_x(t)m(t) - v_y(t) - v_x(t)K_L(t)L \quad (3)$$

$$\dot{m}(t) = v_x(t)K_L(t) - \dot{\psi}(t) \quad (4)$$

dove  $K_L$  è la curvatura della strada (inverso del raggio di curvatura)  $L$  metri avanti il veicolo.



# Equazioni di stato del veicolo dotato di sensore

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \dot{v}_y \\ \dot{\psi} \\ \dot{q} \\ \dot{m} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \frac{-a_1}{m_v v_x} & \frac{-m_v v_x^2 + a_2}{m_v v_x} & 0 & 0 \\ \frac{m_v v_x}{a_3} & \frac{m_v v_x}{-a_4} & 0 & 0 \\ \frac{I_\psi v_x}{-1} & \frac{I_\psi v_x}{0} & 0 & v_x \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ \psi \\ q \\ m \end{bmatrix} + \\
 &+ \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_v + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -L v_x \\ v_x \end{bmatrix} K_L
 \end{aligned} \tag{5}$$

## Incertezza

- **Dinamiche non modellate:** analisi precedente  $\Rightarrow$  trascurabili, poco eccitate.
- **Tempo - varianza:** analisi precedente  $\Rightarrow$  si assume  $v_x$  come parametro incerto variabile in [60, 130] km/h.
- **Incertezza nei parametri:**  $m$ ,  $I_\psi$ ,  $c_f$  e  $c_r$ .

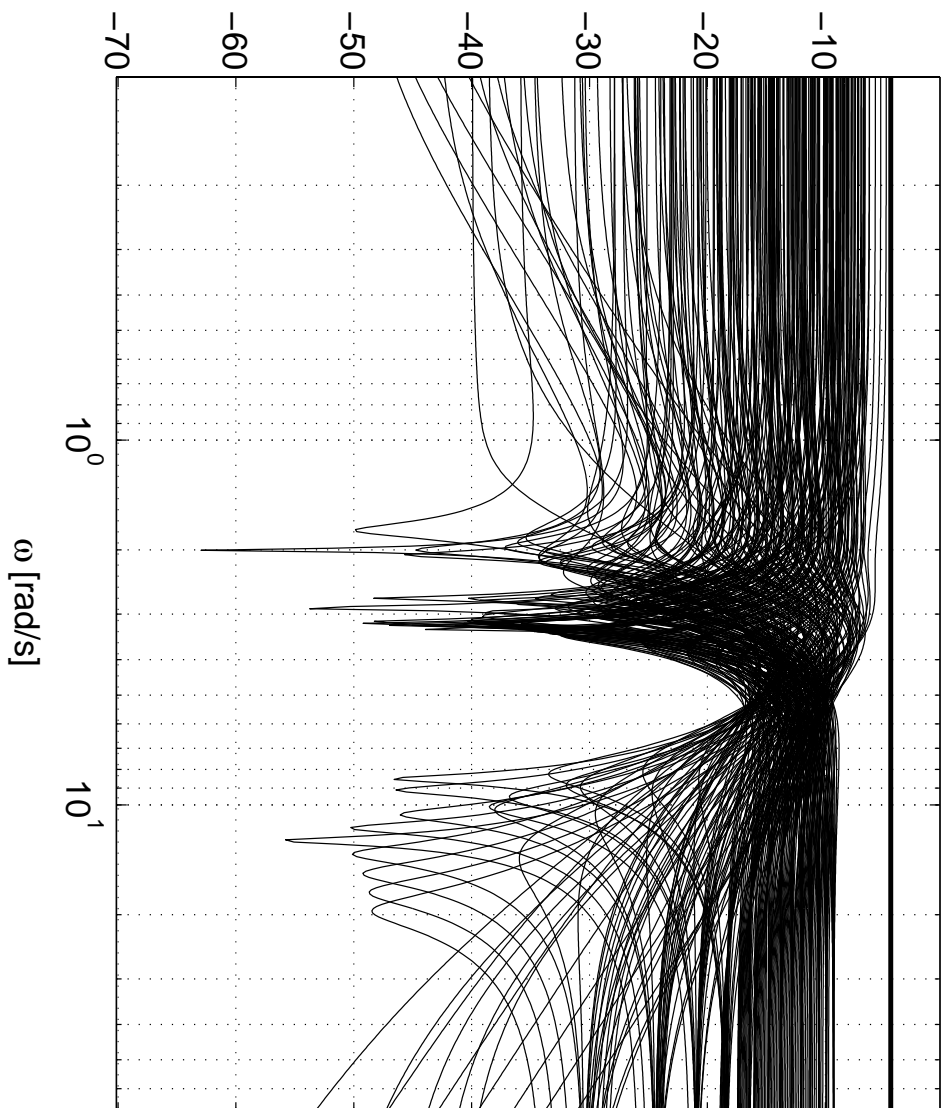
## **Incertezza parametrica**

- $m$  varia in [1226, 1626] *kg*;
- $I_\psi \in [1900, 2520]$   $\text{kgm}^2$ ;
- $c_f \in [51000, 69000]$   $\text{N/rad}$ ;
- $c_r \in [81600, 110400]$   $\text{N/rad}$ ;
- $v_x \in [60/3.6, 130/3.6]$   $\text{m/s}$ ;

## **Incerteza parametrica**

L'incerteza parametrica può essere tradotta (con un pò di conservatività) in un blocco  $\Delta_m$  di incerteza non strutturata in forma moltiplicativa eseguendo un *gridding* sugli intervalli di incerteza dei parametri come mostrato nella trasparenza seguente.

Multiplicative uncertainty  $\Delta_m$  and upper bound  $W_2(j\omega)$



## Specifiche sulle prestazioni

- Garantire la stabilizzazione dell'impianto a fronte dell'incertezza di modello.
- $|q(t)| \leq 20\text{cm}$  (quando  $K_L(t) \leq 0.002 \text{ m}^{-1}$ ).
- Limitare l'attività dello sterzo.

## Strategia di controllo

**Idea:** imitare il comportamento di guida del pilota umano



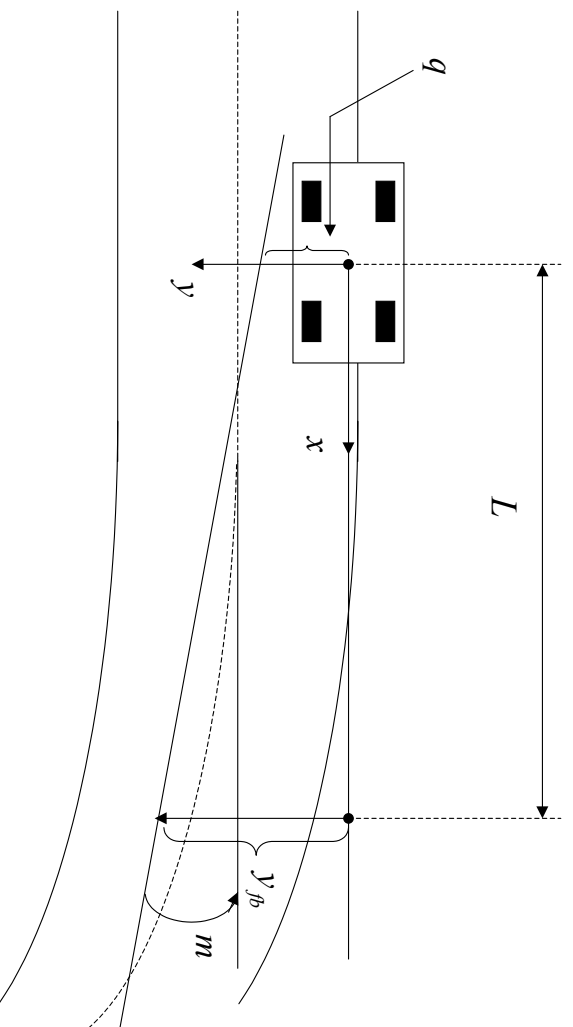
Il pilota umano valuta l'azione di sterzo necessaria per compiere la curva in modo confortevole sulla base della distanza tra l'asse longitudinale della vettura e la mezzzeria della corsia L metri avanti il veicolo \*.

\*M.F. Land, D.N. Lee "Where we look when we steer ?", in *Nature*, vol. 369, June 1994.

## Strategia di controllo

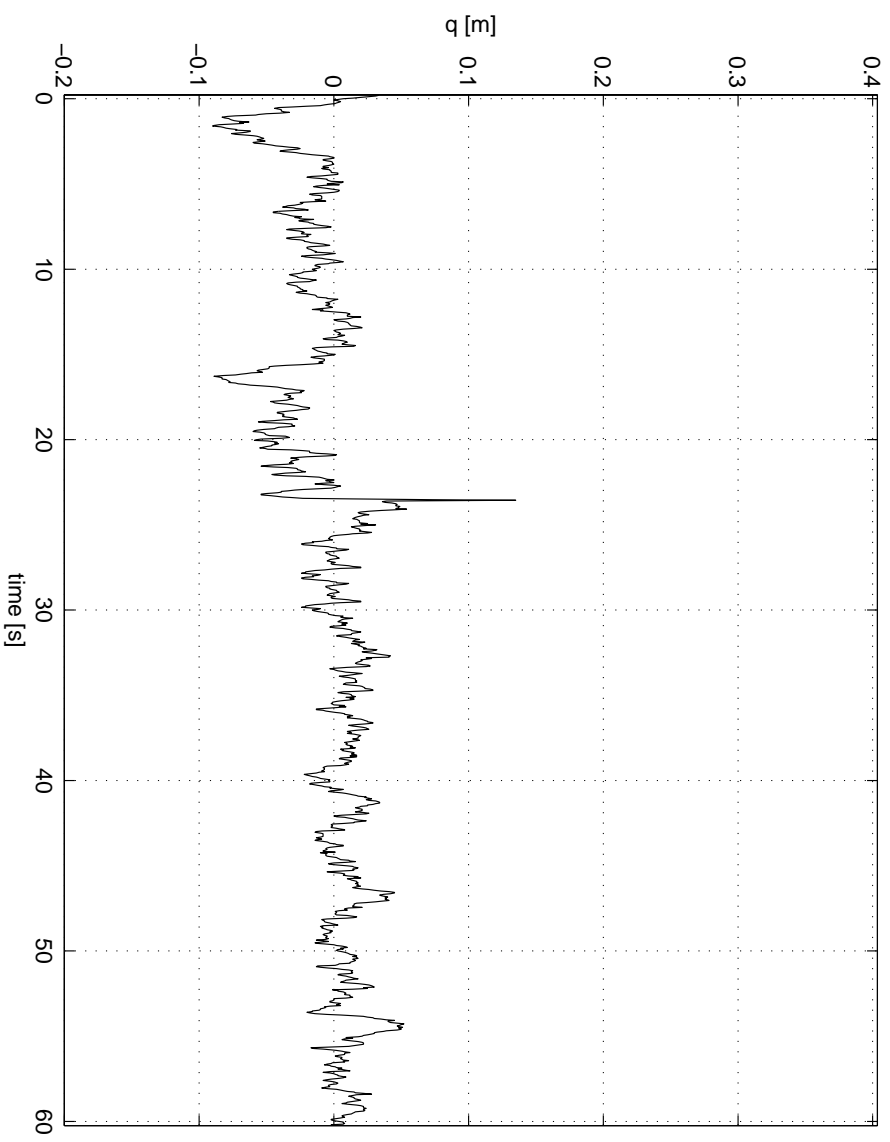
**Idea:** tale grandezza è ben approssimata (nelle nostre condizioni sperimentali) dalla seguente combinazione delle due misure:

$$y_{fb} = q + mL \quad (6)$$





## Risultati sperimentali: $q$ (m)



# Risultati sperimentali: angolo di sterzo al volante $\delta_v$ (gradi)

