



Modeling, Calibration and Validation of Highway Traffic Networks

Andrea Pinna

Università degli Studi di Cagliari
Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica

Delft University of Technology
Delft Center for Systems and Control

Relatori: Prof.Ing. Alessandro Giua
Prof.Ing. Bart De Schutter
Dr.Ing. Andreas Hegyi
Ing. Monique van den Berg

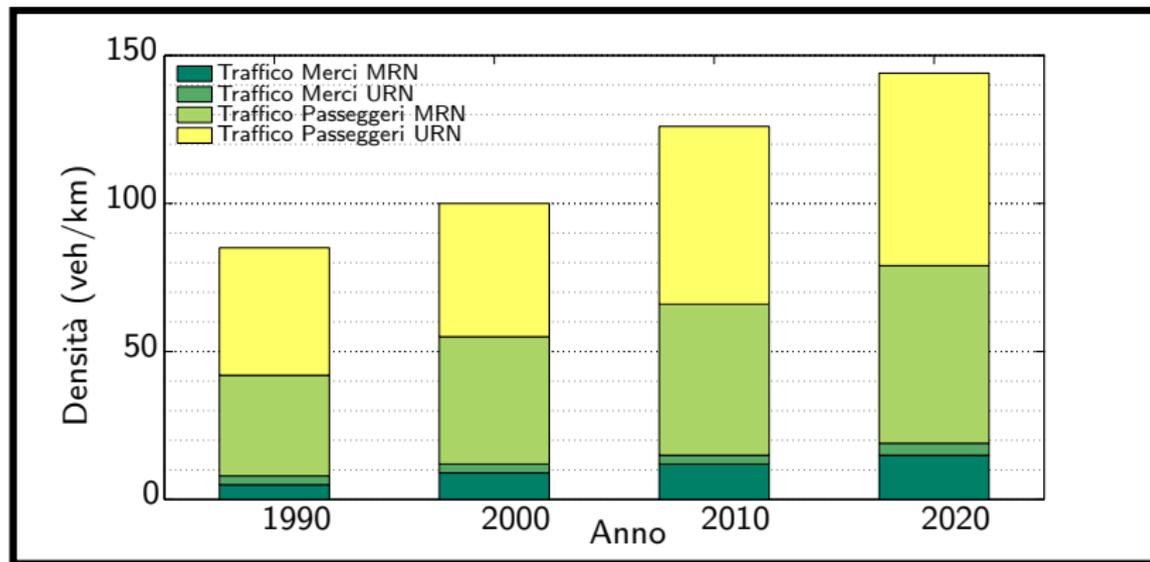
Anno Accademico
2006/2007

18 Aprile 2008

- **Introduzione, Motivazioni e Obiettivi**
- Modellazione della Rete Stradale
- Algoritmo per la Calibrazione
- Algoritmo per la Validazione
- Risultati delle Simulazioni
- Contributi e Risultati
- Ricerca Futura

Situazione Attuale

La rete stradale dei Paesi Bassi risulta, ormai da qualche anno, inadeguata a sostenere la domanda, sempre più crescente, di traffico.



Gli svantaggi sono molteplici:

- Sempre più frequenti congestioni della rete
- Incremento delle emissioni inquinanti
- Spreco di carburante
- Perdita di tempo (e denaro)
- Peggioramento della qualità della vita

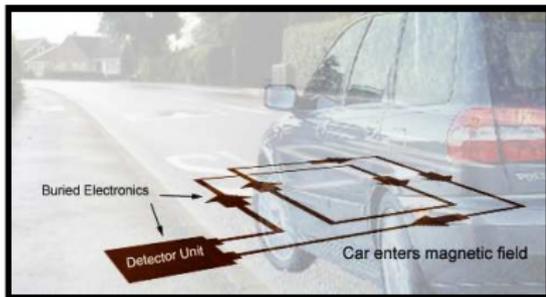
Per tutti questi motivi la rete stradale olandese è soggetta a vari lavori, e tanti altri sono pianificati in futuro.

Al problema del traffico si può ovviare con:

- Ampliamento delle strutture esistenti
- Costruzione di nuove strade
- Ottimizzazione del flusso del traffico lungo l'attuale rete

Controllo del Flusso del Traffico

Il flusso di veicoli lungo una strada può essere controllato tramite una strategia di controllo, che gestirà i dati provenienti dai sensori e istruirà gli attuatori.



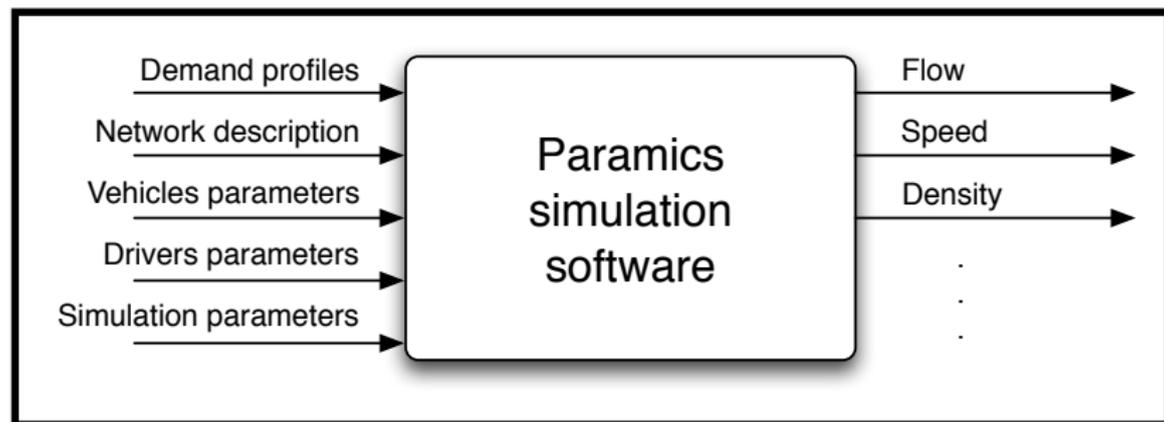
Le strategie di controllo, prima di venir applicate, vengono simulate per mezzo di appositi software (Corsim, Paramics, Vissim).

I software di simulazione del flusso del traffico possono essere classificati in base alle seguenti categorie:

- Interpretazione fisica (black box, grey box, white box)
- Livello di dettaglio (microscopico, mesoscopico, macroscopico)
- Modello deterministico oppure stocastico
- Modello tempo-discreto oppure tempo-continuo

Il software di simulazione scelto è Paramics:

- Grey box
- Microscopico
- Stocastico
- Tempo-discreto



Gli obiettivi del progetto sono:

- Creazione di un semplice modello di rete autostradale in Paramics
- Sviluppo, in Matlab, di un algoritmo per la calibrazione dei parametri del modello
- Selezione della funzione di ottimizzazione più adatta per tale scopo
- Validazione del modello calibrato

- Introduzione, Motivazioni e Obiettivi
- **Modellazione della Rete Stradale**
- Algoritmo per la Calibrazione
- Algoritmo per la Validazione
- Risultati delle Simulazioni
- Contributi e Risultati
- Ricerca Futura

Stazione di Servizio

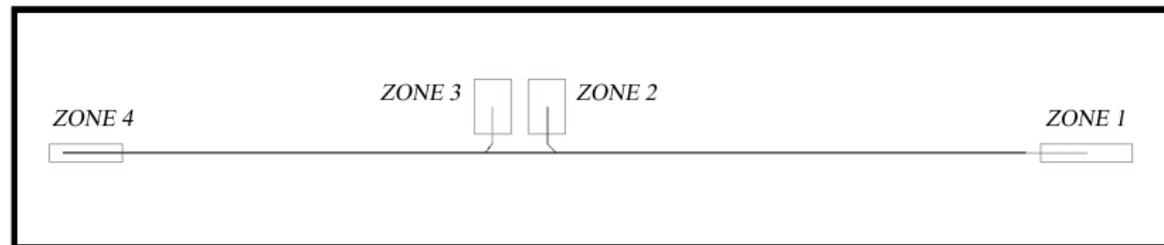
Solamento dopo l'avvio del progetto, si è notata la presenza di una stazione di servizio:

- Interruzione del rettilineo
- Perturbazione del traffico
- Difficile stima del numero di veicoli che usufruisce della stazione



Il layout della rete viene modellato tenendo conto della stazione di rifornimento:

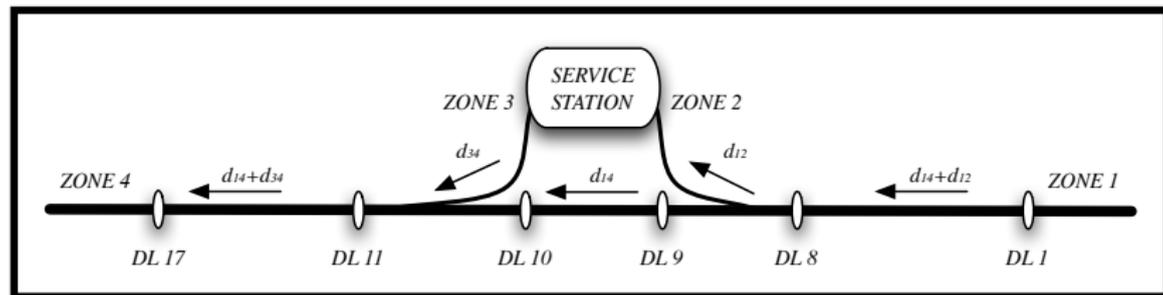
- Inizio della rete (1)
- Uscita della rete (4)
- Ingresso alla stazione di servizio (2)
- Uscita dalla stazione di servizio (3)



Modellazione della Domanda

Paramics deve sapere quanti veicoli immettere nella rete durante la simulazione, e con quale distribuzione statistica.

E' possibile costruire la matrice di origine-destinazione e il profilo di domanda dall'analisi dei dati messi a disposizione dal Ministero dei Trasporti.



Tra i parametri più importanti abbiamo:

- Distanza temporale media (Mean headway time)
- Tempo di reazione medio (Mean reaction time)
- Passo di simulazione

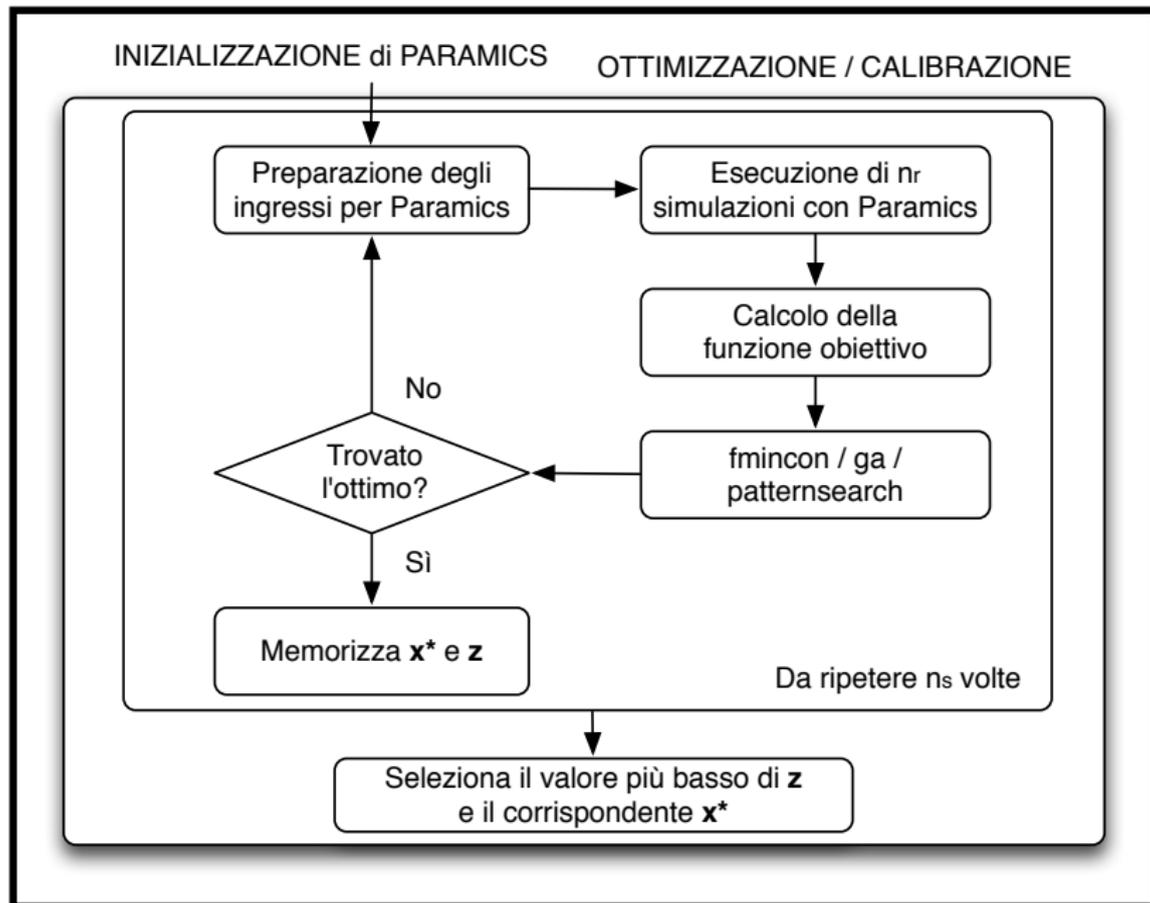
Il modello è completato con la matrice dei limiti di velocità applicati.

Le simulazioni possono essere eseguite, ricavando le seguenti variabili descrittive del traffico:

- Flusso medio (veh/h)
- Velocità media (km/h)
- Densità media (veh/km)

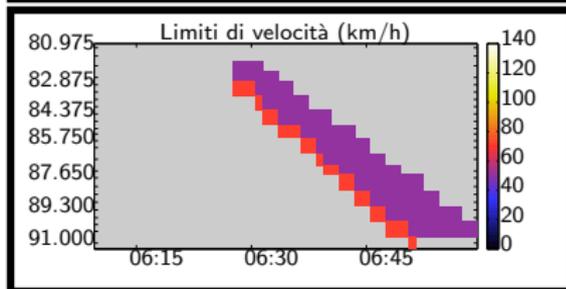
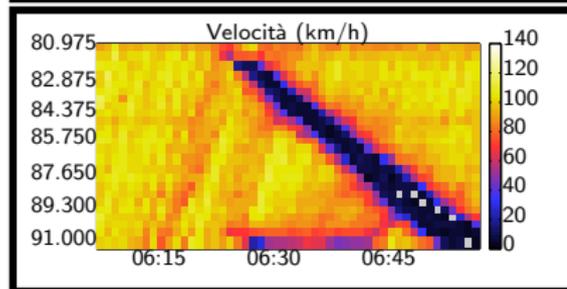
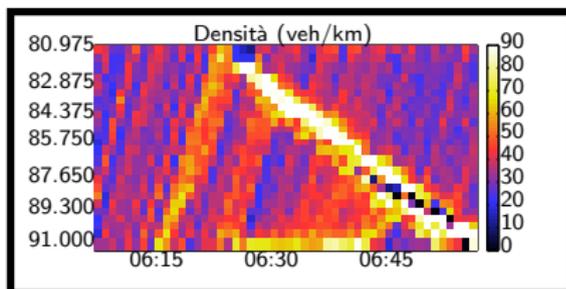
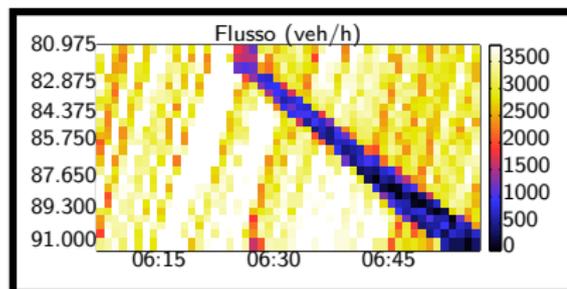
- Introduzione, Motivazioni e Obiettivi
- Modellazione della Rete Stradale
- **Algoritmo per la Calibrazione**
- Algoritmo per la Validazione
- Risultati delle Simulazioni
- Contributi e Risultati
- Ricerca Futura

Algoritmo per la Calibrazione



Scelta dello Scenario per la Calibrazione

Da un'analisi dei dati a disposizione, è stato scelto come scenario più rappresentativo quello compreso tra le 6:10 e le 7:00 della giornata del 30 gennaio 2006.



La funzione obiettivo ha una componente relativa al flusso e una relativa alla velocità:

$$z(\mathbf{x}) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=m_r}^n (f_{i,j} - \hat{f}_{i,j})^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=m_r}^n \hat{f}_{i,j}^2} + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=m_r}^n (v_{i,j} - \hat{v}_{i,j})^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=m_r}^n \hat{v}_{i,j}^2}$$

Le funzioni di ottimizzazione testate, che svolgeranno il compito di calibrare i parametri del modello, sono:

- *fmincon* (programmazione non lineare)
- *ga* (algoritmo genetico)
- *patternsearch* (ricerca diretta)

I parametri da calibrare sono:

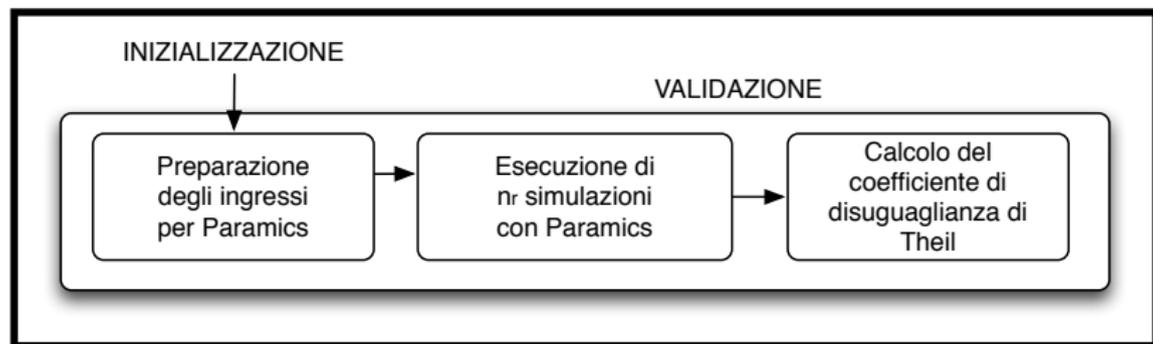
- Mean headway time (distanza temporale media)
- Mean reaction time (tempo di reazione medio)

- Introduzione, Motivazioni e Obiettivi
- Modellazione della Rete Stradale
- Algoritmo per la Calibrazione
- **Algoritmo per la Validazione**
- Risultati delle Simulazioni
- Contributi e Risultati
- Ricerca Futura

Algoritmo per la Validazione

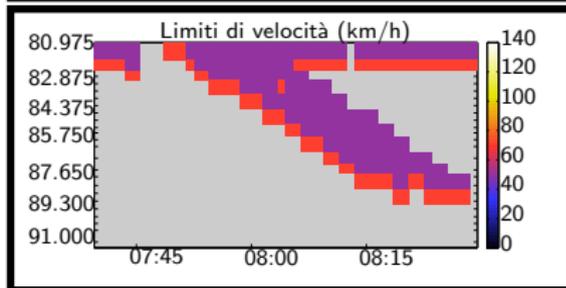
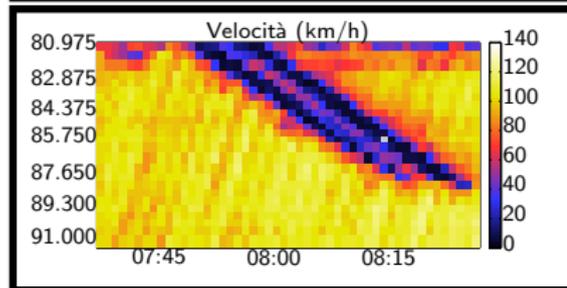
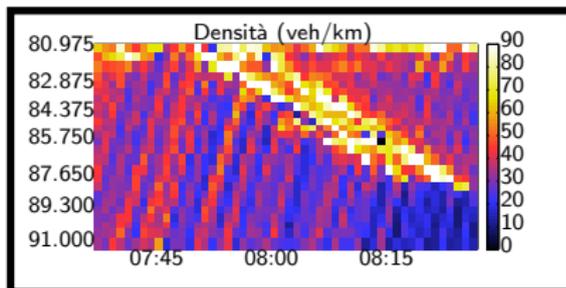
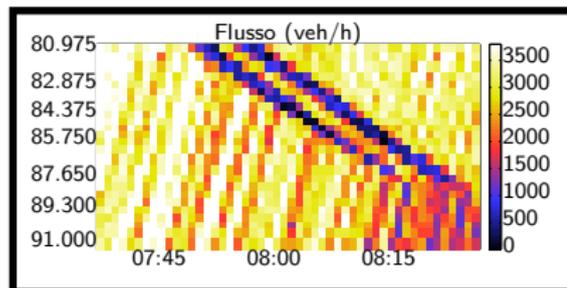
La procedura di validazione controlla che i valori dei parametri calibrati, relativamente allo scenario di calibrazione, possano essere utilizzati anche sotto diverse situazioni di traffico.

Superata la validazione, il modello viene considerato affidabile e può essere utilizzato per la prova delle strategie di controllo.



Scelta dello Scenario per la Validazione

Lo scenario utilizzato per la procedura di validazione spazia temporalmente dalle 7:40 alle 8:30 del 31 gennaio 2006.



Coefficiente di disuguaglianza di Theil

Il coefficiente di disuguaglianza di Theil è stato selezionato come misura della corrispondenza tra le grandezze reali e quelle simulate. E' più accurato e sensitivo dell'errore quadratico medio e del coefficiente di correlazione.

$$U = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=m_r}^n (f_{i,j} - \hat{f}_{i,j})^2}{m(n-m_r+1)}}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=m_r}^n (f_{i,j})^2}{m(n-m_r+1)}} + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=m_r}^n (\hat{f}_{i,j})^2}{m(n-m_r+1)}}}} + \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=m_r}^n (v_{i,j} - \hat{v}_{i,j})^2}{m(n-m_r+1)}}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=m_r}^n (v_{i,j})^2}{m(n-m_r+1)}} + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=m_r}^n (\hat{v}_{i,j})^2}{m(n-m_r+1)}}}}$$

Il numeratore può essere scomposto in tre termini, singolarmente analizzabili:

- Misura dell'errore sistematico
- Misura della capacità di replicare la varianza delle grandezze
- Misura dell'errore non sistematico

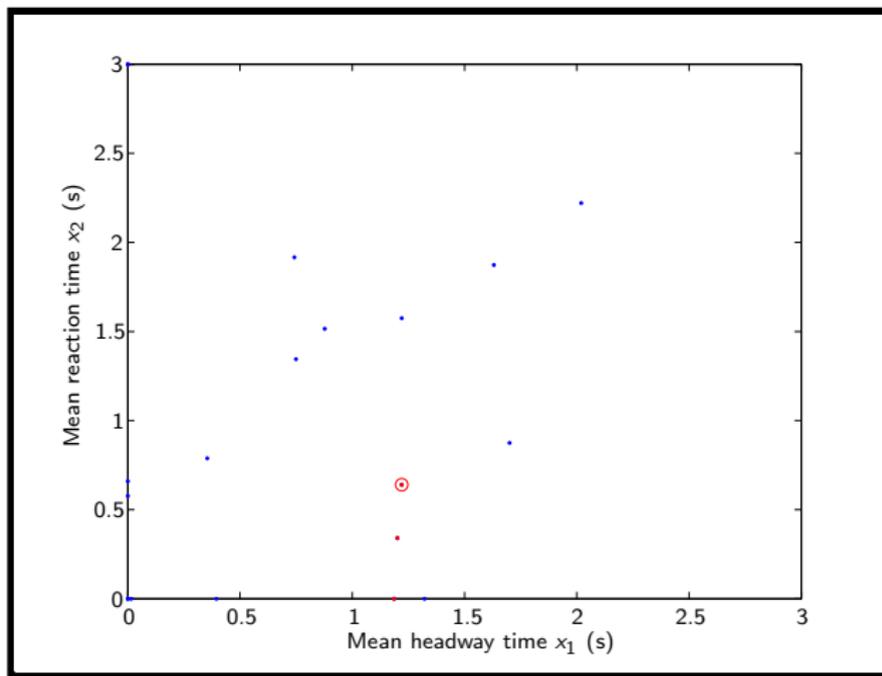
- Introduzione, Motivazioni e Obiettivi
- Modellazione della Rete Stradale
- Algoritmo per la Calibrazione
- Algoritmo per la Validazione
- **Risultati delle Simulazioni**
- Contributi e Risultati
- Ricerca Futura

La scelta dell'algoritmo più adatto è effettuata tramite una serie di simulazioni:

- Confronto tra le uscite della simulazione corrente e quelle della simulazione di riferimento
- Scelta di un seme casuale
- Esecuzione di 5 simulazioni diverse per la valutazione della funzione obiettivo
- Valutazione dell'ottimo attraverso 20 punti iniziali differenti
- *fmincon* ($z = 0.0651$ in $x = [1.22, 0.64]$)
- *ga* ($z = 0.0601$ in $x = [1.18, 0.01]$)
- *patternsearch* ($z = 0.0603$ in $x = [1.11, 0.46]$)

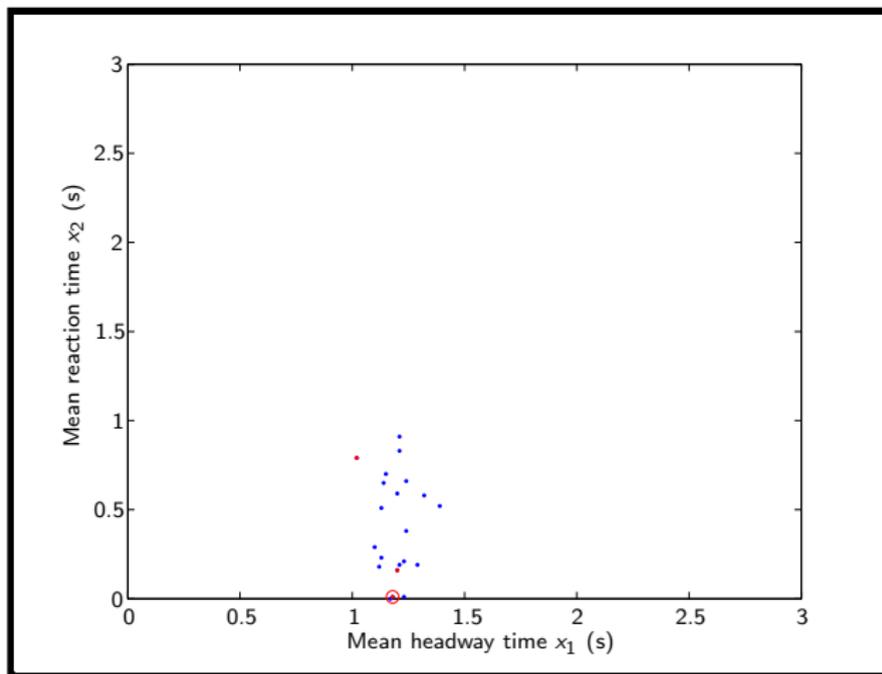
Risultati (*fmincon*)

	x_1	x_2	z	N.It.	N.F.E.
μ	0.7317	1.0161	0.1361	4.95	80.05
σ^2	0.4560	0.9854	$4 \cdot 10^{-3}$	6.68	$5.89 \cdot 10^3$



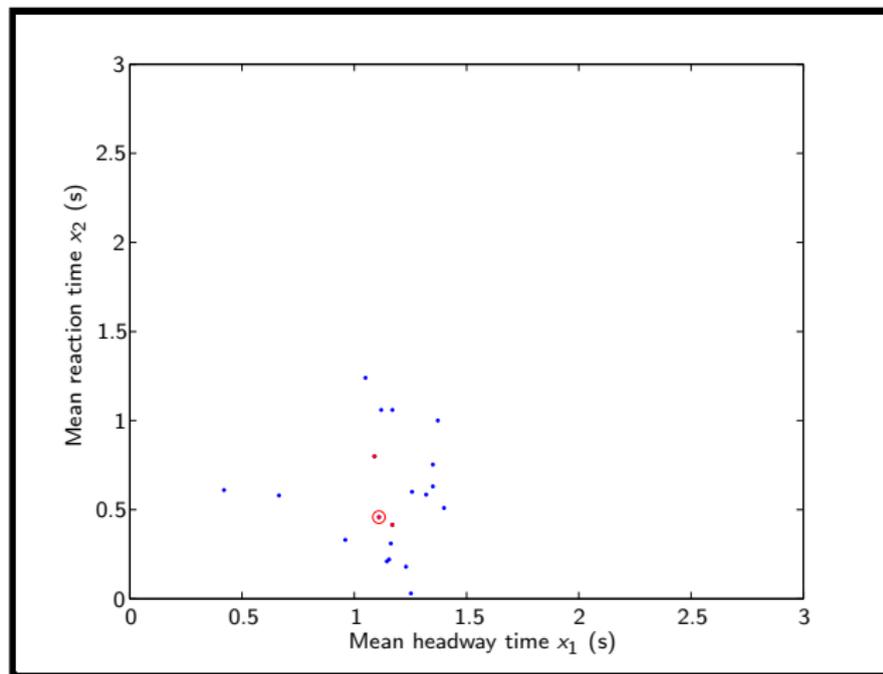
Risultati (*ga*)

	x_1	x_2	z	N.It.	N.F.E.
μ	1.1955	0.4215	0.0718	51	1020
σ^2	0.0068	0.0832	$5.46 \cdot 10^{-5}$	0	0



Risultati (*patternsearch*)

	x_1	x_2	z	N.It.	N.F.E.
μ	1.1375	0.5790	0.0714	15.30	37.20
σ^2	0.0562	0.1088	$5.62 \cdot 10^{-5}$	21.17	96.17

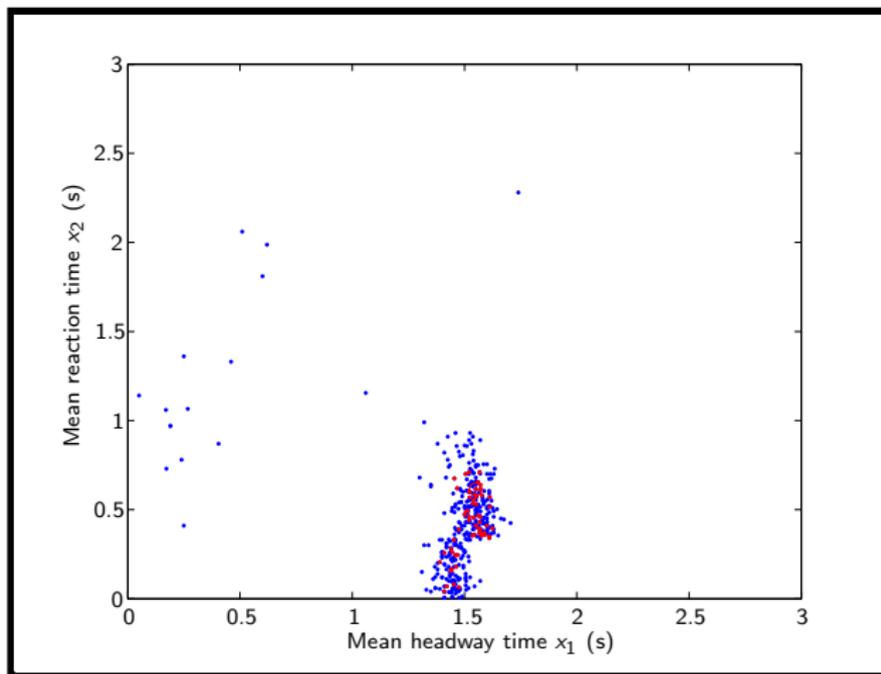


La funzione di ottimizzazione *patternsearch* è selezionata per calibrare i parametri:

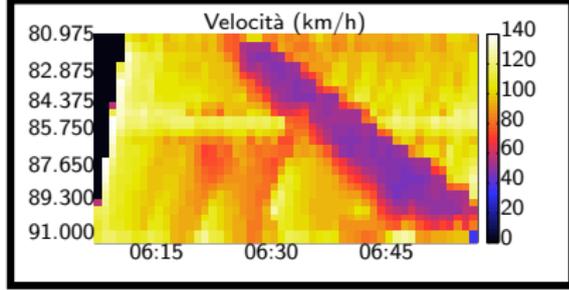
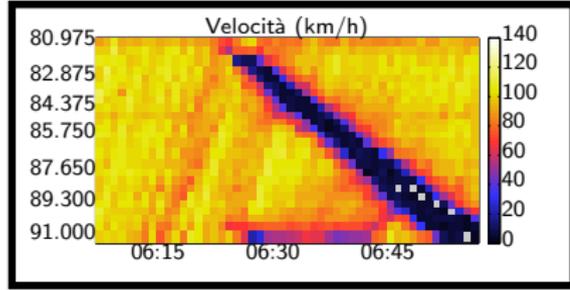
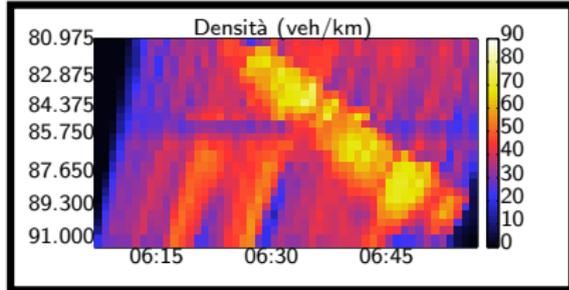
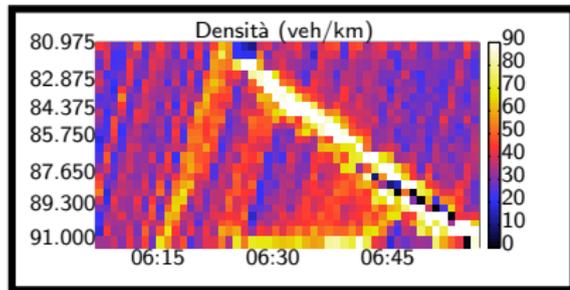
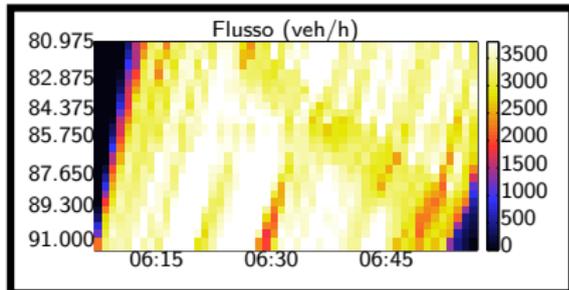
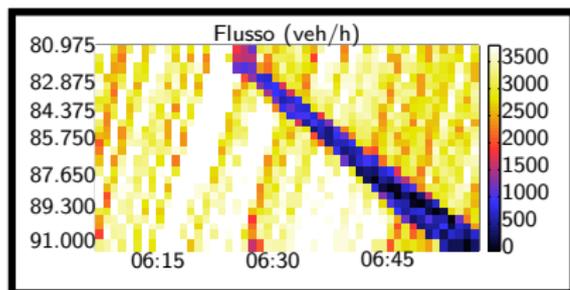
- Confronto tra le uscite della simulazione e le grandezze misurate dai sensori
- Scelta di un seme casuale
- Esecuzione di 5 simulazioni diverse per la valutazione della funzione obiettivo
- Valutazione dell'ottimo attraverso 400 punti iniziali differenti
- $z = 0.1477$ nel punto $x = [1.55, 0.62]$

Risultati (*patternsearch*)

	x_1	x_2	z	N.It.	N.F.E.
μ	1.4626	0.4358	0.1563	17.99	45.84
σ^2	0.0547	0.0857	$1.97 \cdot 10^{-4}$	20.19	151.89



Risultati (*patternsearch*)



Utilizzando la coppia di parametri calibrati, si esegue una serie di simulazioni dello scenario di validazione:

- Mean headway time $x_1 = 1.55$
- Mean reaction time $x_2 = 0.62$

Il coefficiente di disuguaglianza di Theil vale:

- $U = U_f + U_s = 29.01\%$
- $U_f = 17.33\%$
- $U_s = 11.68\%$

Il modello non può quindi essere validato ed utilizzato come banco di prova, in quanto $U_{max} \leq 20\%$.

- Introduzione, Motivazioni e Obiettivi
- Modellazione della Rete Stradale
- Algoritmo per la Calibrazione
- Algoritmo per la Validazione
- Risultati delle Simulazioni
- **Contributi e Risultati**
- Ricerca Futura

Contributi:

- Modellazione di una rete reale in Paramics
- Sviluppo di un algoritmo per la calibrazione e la validazione in Matlab
- Test di funzioni di ottimizzazione per la calibrazione
- Sviluppo di algoritmi secondari (calibrazione con ingressi simulati e validazione incrociata)

Risultati:

- Individuazione dei parametri calibrati all'interno di un range ridotto
- La funzione di ottimizzazione selezionata è *patternsearch*
- Il modello della rete non ha superato la procedura di validazione e deve essere migliorato

- Introduzione, Motivazioni e Obiettivi
- Modellazione della Rete Stradale
- Algoritmo per la Calibrazione
- Algoritmo per la Validazione
- Risultati delle Simulazioni
- Contributi e Risultati
- **Ricerca Futura**

- Modellazione più accurata della rete (sensori, layout)
- Modellazione più accurata dei profili di domanda
- Incremento dell'intervallo di simulazione
- Diminuzione del passo di simulazione
- Stima più accurata del numero di simulazioni da eseguire
- Funzione obiettivo con addendi pesati
- Analisi del coefficiente di disuguaglianza di Theil

- Ampliamento della rete
- Selezione di un maggior numero di scenari
- Studio della sensitività dei parametri
- Selezione di nuovi parametri da calibrare
- Calibrazione della matrice di origine-destinazione
- Calibrazione del profilo di domanda
- Studio dei parametri degli algoritmi di ottimizzazione, in modo da massimizzare le loro prestazioni

- Miglioramento dell'algoritmo di modellazione del flusso del traffico
- Test di altri software di simulazione
- Studio di strategie di controllo da applicare alla rete
- Studio dell'effetto di particolari condizioni (pioggia, incidenti) sugli algoritmi di controllo
- Investigazione circa l'attuabilità di strategie di controllo in linea

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!