



# MATEMATICA GREEN: VIABILITÀ SOSTENIBILE E CIRCOLARE

Relatrici:  
Maya Briani  
Alice Guerini

14 marzo 2023



**a2a**  
LIFE COMPANY

per le  
scuole



# MATEMATICA GREEN: VIABILITÀ SOSTENIBILE E CIRCOLARE

Relatrici:  
Maya Briani  
Alice Guerini

14 marzo 2023



per le  
scuole

# Perché la matematica può aiutarci?

Vivere difendendo il nostro pianeta

## Modellistica

simulazioni e analisi  
di scenario

## Monitoraggio

Analisi dati e riduzione  
dell'incertezza



## Supporto alle decisioni

Previsione, ottimizzazione,  
controllo



# MATEMATICA GREEN

## Viabilità sostenibile e circolare

Maya Briani, IAC-CNR

# Monitoraggio e analisi dati

Dati di traffico veicolare



# Dati di traffico veicolare

## Dati Lagrangiani e Euleriani



### Dati Lagrangiani

I dati Lagrangiani sono tipicamente dati GPS (cioè di posizione, da cui si ricava la velocità istantanea), danno informazioni sulle traiettorie seguite dai singoli veicoli.

Vengono di solito usati per calibrare e alimentare i modelli microscopici.



### Dati Euleriani

I dati Euleriani provengono da sensori fissi posti lungo la strada, in grado di contare le macchine e misurarne la velocità istantanea.

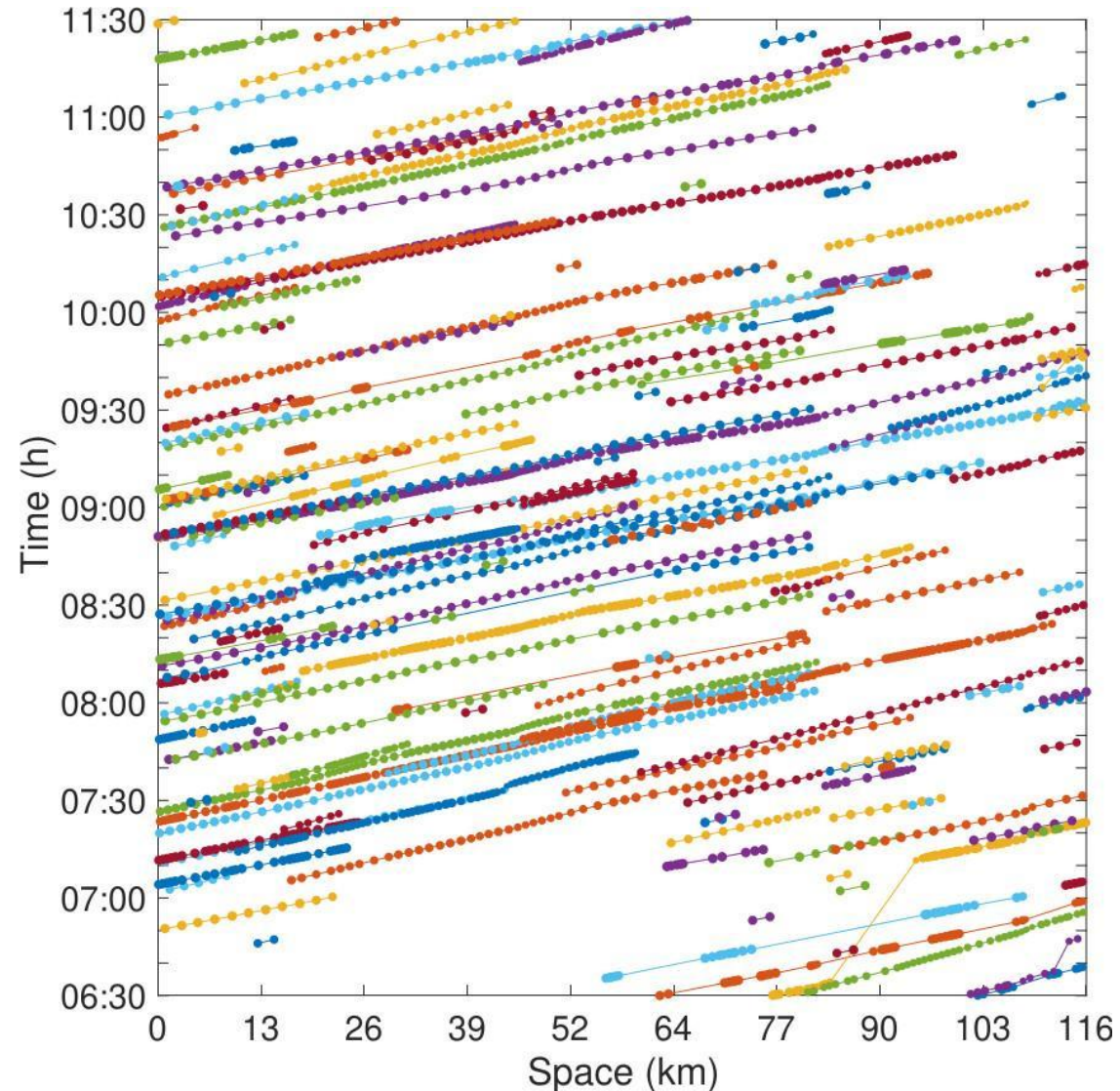
Vengono usati per calibrare i modelli macroscopici (fluidodinamici).

# Dati Lagrangiani

## Dati GPS

Abbiamo informazioni sulla posizione di un numero limitato di veicoli e in specifici punti nel tempo e nello spazio

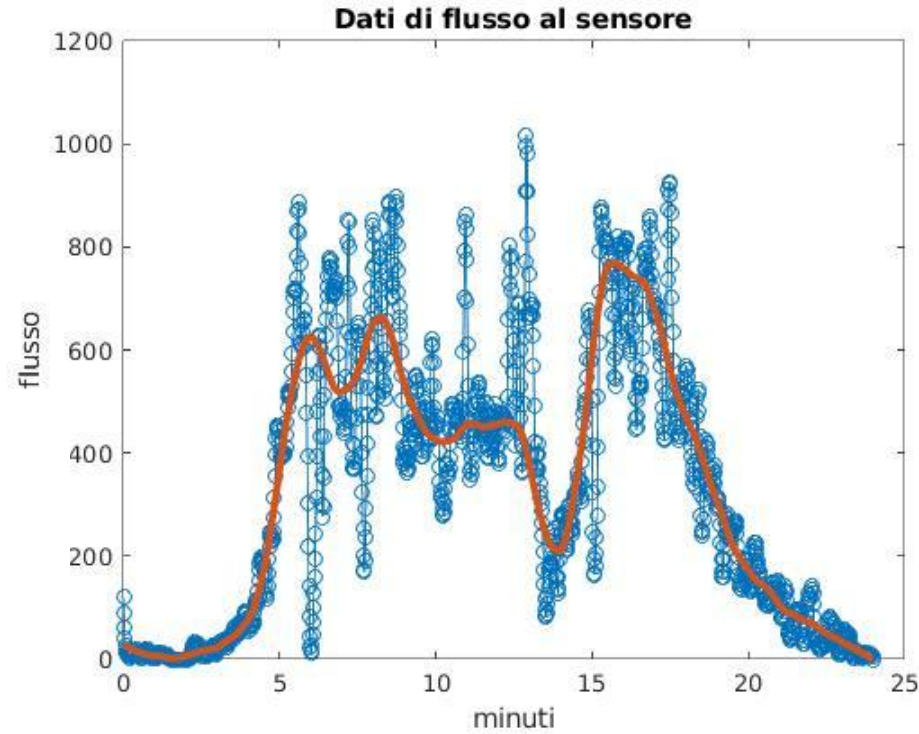
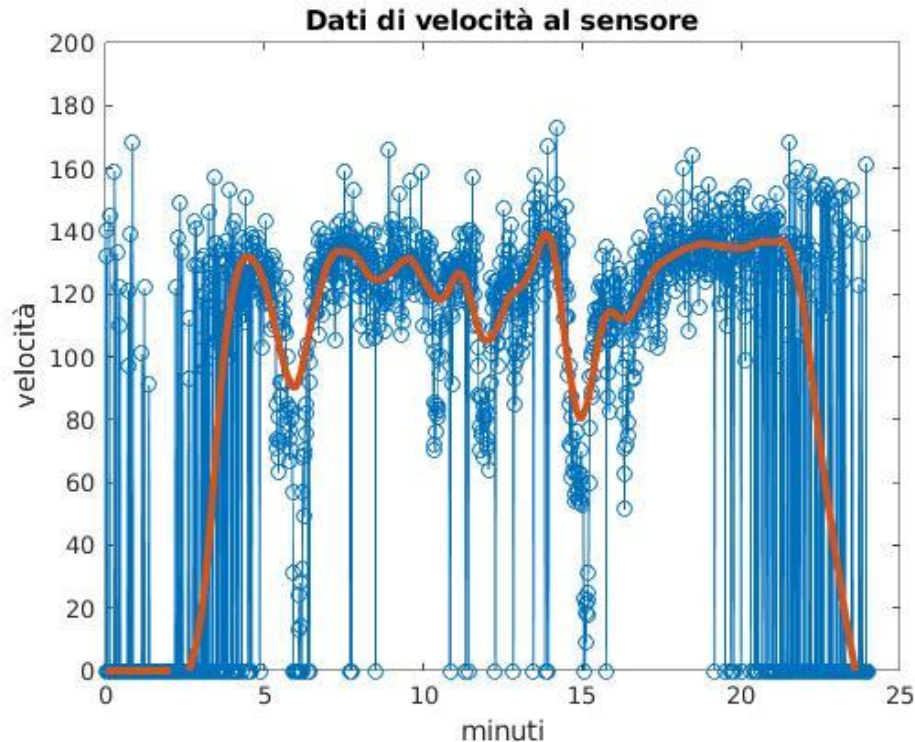
Fondamentali per la calibrazione di modelli microscopici che tracciano ogni singolo veicolo



# Dati euleriani

## Sensori fissi

Abbiamo informazioni su quanti veicoli sono passati sotto al sensore in 1 minuto e sulla loro velocità media.



Usati nella calibrazione dei modelli macroscopici che calcolano l'evoluzione della densità dei veicoli



# MATEMATICA GREEN

## Applicazioni aziendali in A2A

Alice Guerini

Chi è un data scientist?

**Possibili risposte:**

- Uno/a scienziato/a dei dati
- Un esperto/a che esegue analisi statistiche e ricerca trend
- Un esperto/a che si occupa dello sviluppo dei modelli e strategie sulla base dei dati
- Un esperto/a che prepara siti web



[www.menti.com](http://www.menti.com)

codice .....

# I NOSTRI SERVIZI PER VOI

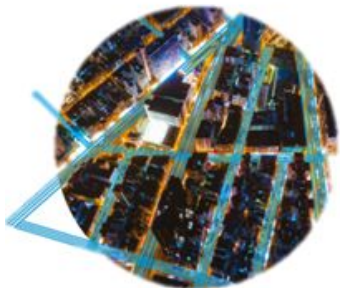
Mobilità sostenibile



Smart City



Reti di distribuzione



Smart infrastructures

Calore e Servizi



Ciclo idrico



Illuminazione pubblica



Energia



Produzione di energia



Vendita di energia elettrica e gas



Efficienza energetica

Ambiente



Recupero di materia e energia



Igiene urbana

## COSA FA UN DATA SCIENTIST IN A2A

È un esperto/a in Data Science e supporta il business nell'estrazione di valore dai dati aziendali. Segue lo sviluppo dei progetti dall'inizio alla fine, partendo dalla raccolta dei requisiti del business, passando poi alla raccolta dei dati, all'esplorazione, la preparazione, la realizzazione di modelli di Advanced Analytics, la validazione del modello con test sul campo e il monitoraggio delle prestazioni.





# MATEMATICA GREEN

## Viabilità sostenibile e circolare

Maya Briani, IAC-CNR

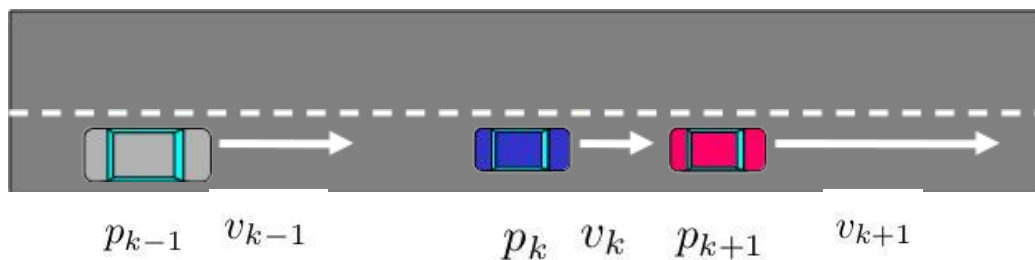
# Modellistica e simulazioni

Modelli previsionali di traffico stradale

# Modelli Microscopici

## Modelli previsionali di traffico veicolare

I modelli microscopici **tracciano ogni singolo veicolo**, calcolandone le interazioni con gli altri veicoli



$p_k$  = posizione auto k

$v_k$  = velocità auto k

$a_k$  = accelerazione auto k

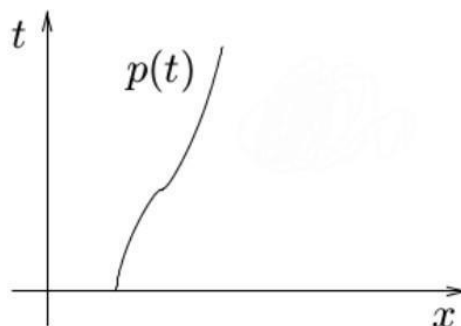
$$\dot{p}_k(t) = v_k(t)$$

$$a_k = \dot{v}_k(t) = c_k \frac{v_{k+1}(t) - v_k(t)}{p_{k+1} - p_k}$$

# Modelli Microscopici

## Modelli previsionali di traffico veicolare

I modelli microscopici **tracciano ogni singolo veicolo**, calcolandone le interazioni con gli altri veicoli



### → Vantaggi

Ideali per simulare la dinamica di poche macchine in ambienti complessi (incroci, rotatorie) e simulare i sorpassi in strade a più corsie.

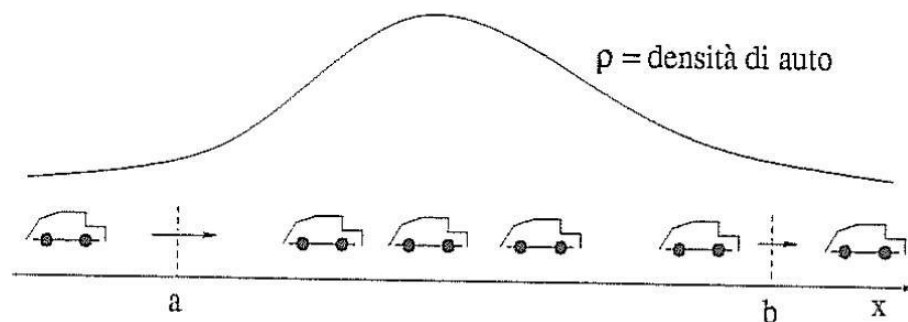
### → Svantaggi

Non adatti per la simulazione di grandi flussi di traffico o grandi reti, a causa dell'elevato numero di parametri e delle ingenti risorse di calcolo richieste.

# Modelli Macroscopici

## Modelli previsionali di traffico veicolare

I modelli Macroscopici calcolano l'evoluzione della **densità dei veicoli**, perdendo il dettaglio dei singoli veicoli. Il risultato della simulazione è il grado di congestione di porzioni di strada.



### → Vantaggi

Ideali per la simulazione di grandi flussi di traffico o grandi reti.

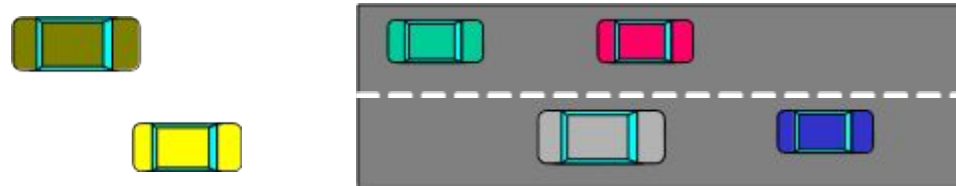
### → Svantaggi

Difficoltà nella gestione di piccole strade (ad es. rampe), difficoltà matematiche agli incroci.

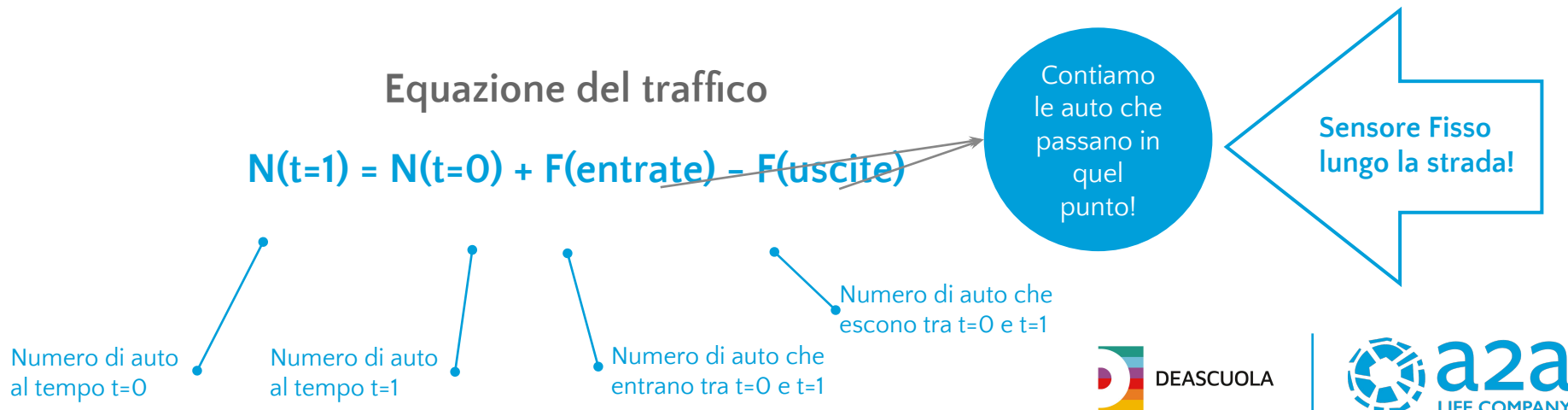
# Modelli Macroscopici

## Modelli previsionali di traffico veicolare

I modelli Macroscopici calcolano l'evoluzione della **densità dei veicoli**, perdendo il dettaglio dei singoli veicoli.

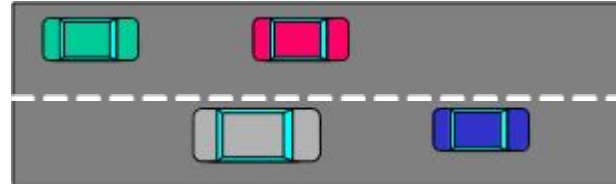


**Legge di conservazione delle automobili** → In una strada senza uscite o parcheggi, il numero di automobili cambia facendo la differenza tra quelle entrate e quelle uscite



# Un modello di traffico stradale

## Modelli Macroscopici



Fissiamo due punti qualsiasi lungo la strada,  $a < b$ . Ad un certo istante  $t$ , la quantità di auto nel tratto di strada  $[a, b]$  sarà data da

$$\int_a^b \rho(t, x) dx$$

Questa quantità varia perché le macchine si spostano: alcune entrano da  $a$  mentre altre escono da  $b$

$$\frac{d}{dt} \int_a^b \rho(t, x) dx = f(t, a) - f(t, b)$$

dove  $f(t, a)$  è il flusso di auto entrate in  $a$  e  $f(t, b)$  è il flusso di auto uscite in  $b$ .

Otteniamo un'equazione alle derivate parziali che esprime la legge di conservazione

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \frac{\partial}{\partial x} f(\rho) = 0$$

# Un modello di traffico stradale

## Modelli Macroscopici

Conoscendo la densità iniziale sulla strada, vorremmo calcolare la funzione  $\rho$  nei tempi futuri.

Lo possiamo fare se riusciamo ad esprimere il flusso in funzione della sola densità. Osserviamo quindi che

$$f = \rho \times v$$

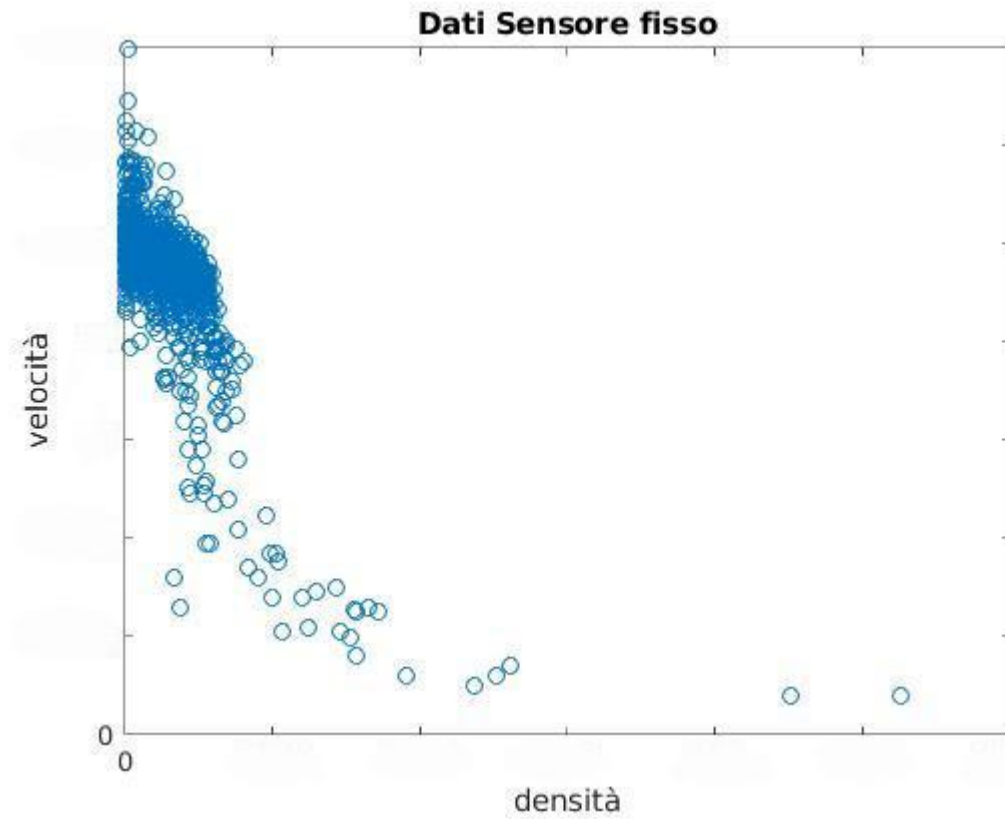
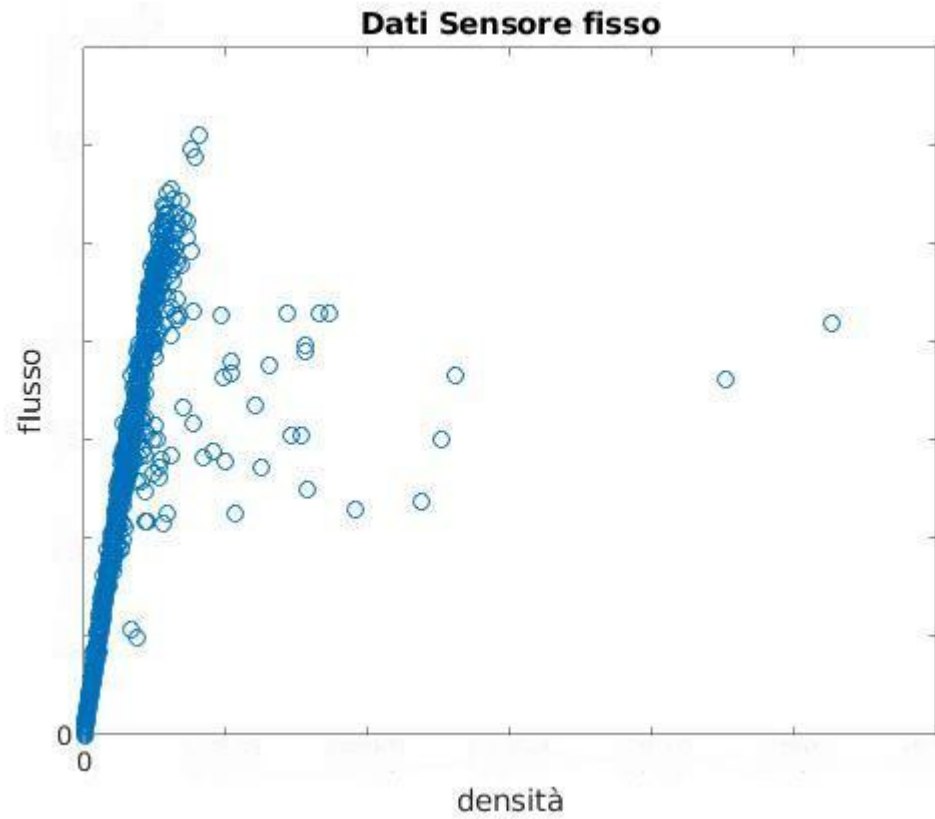
$$[ \text{flusso} ] = [ \text{densità} ] \times [ \text{velocità} ]$$

e supponiamo per semplicità che la velocità con cui viaggiano le auto sia funzione anche essa solo della densità di traffico ...

Qui ci vengono nuovamente in aiuto i dati ... !!!

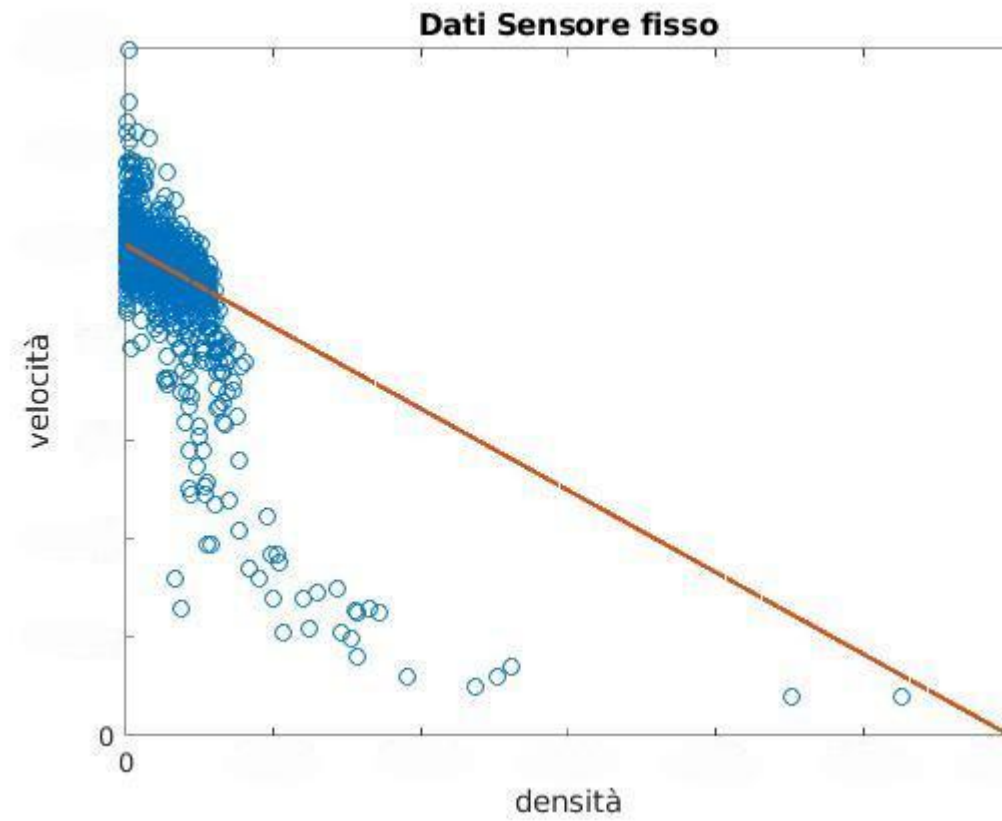
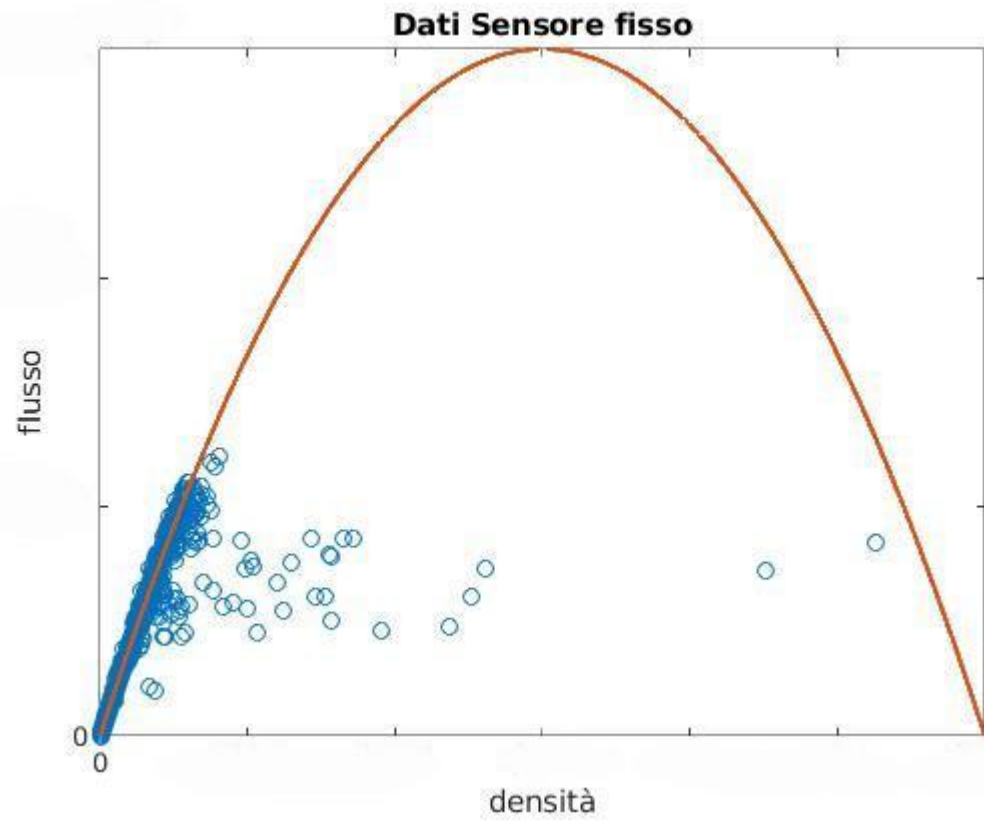
# Un modello di traffico stradale

## Modelli Macroscopici



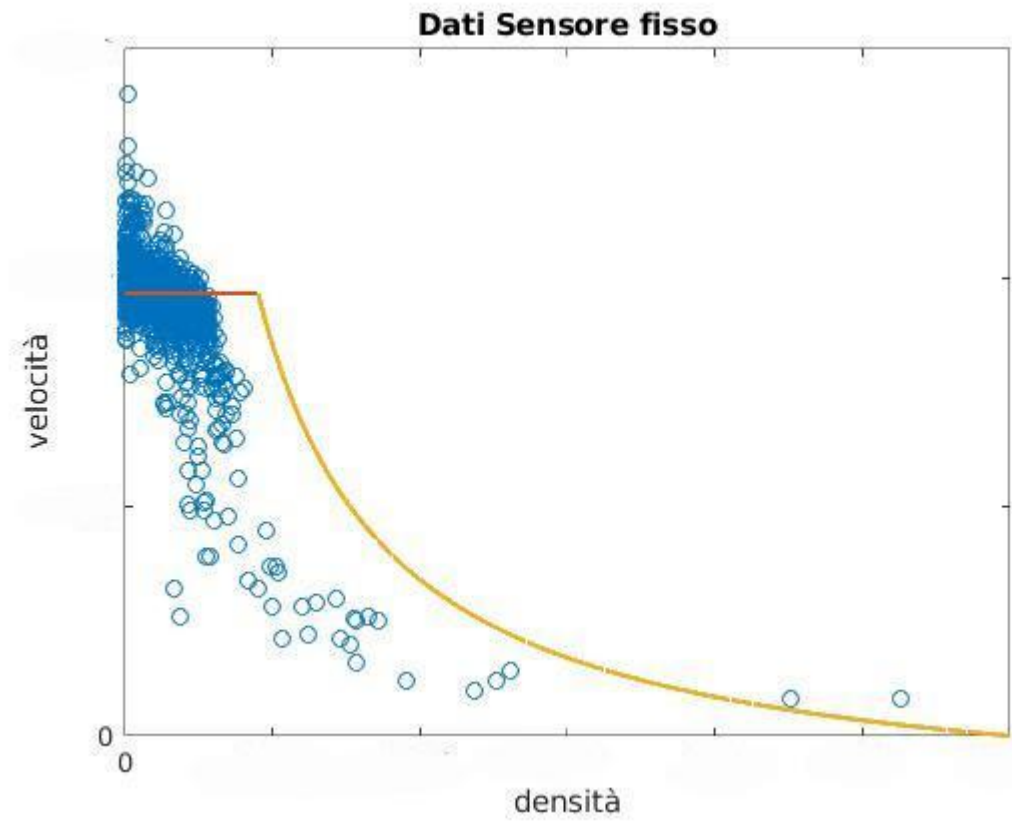
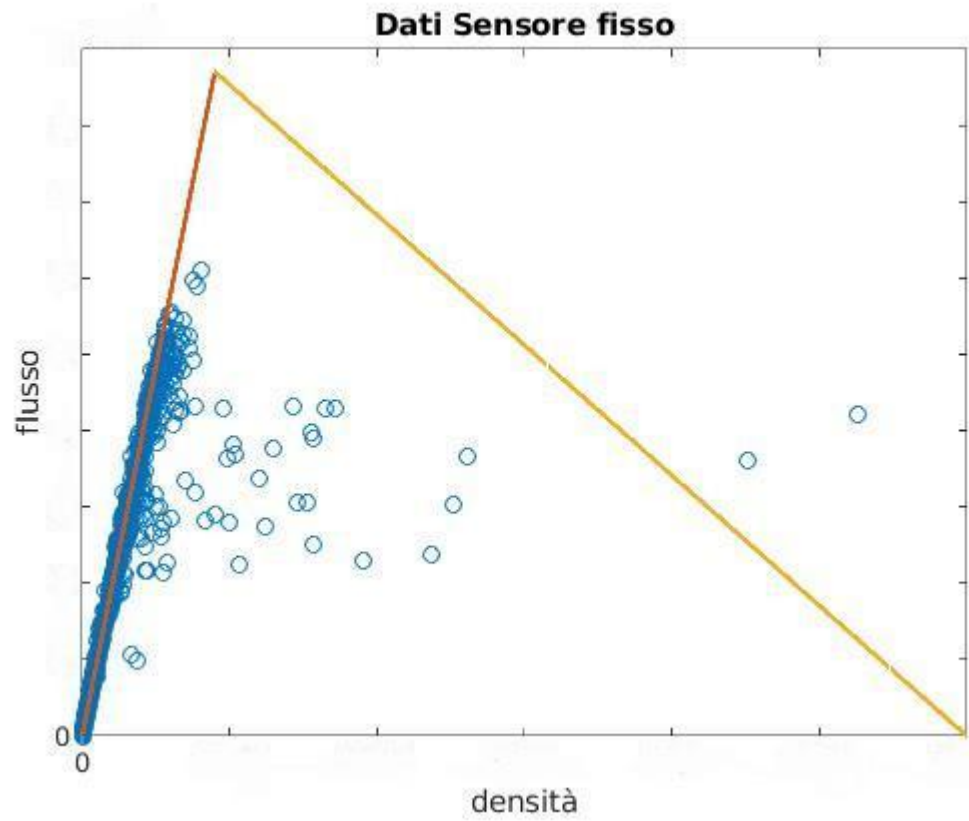
# Un modello di traffico stradale

## Modelli Macroscopici



# Un modello di traffico stradale

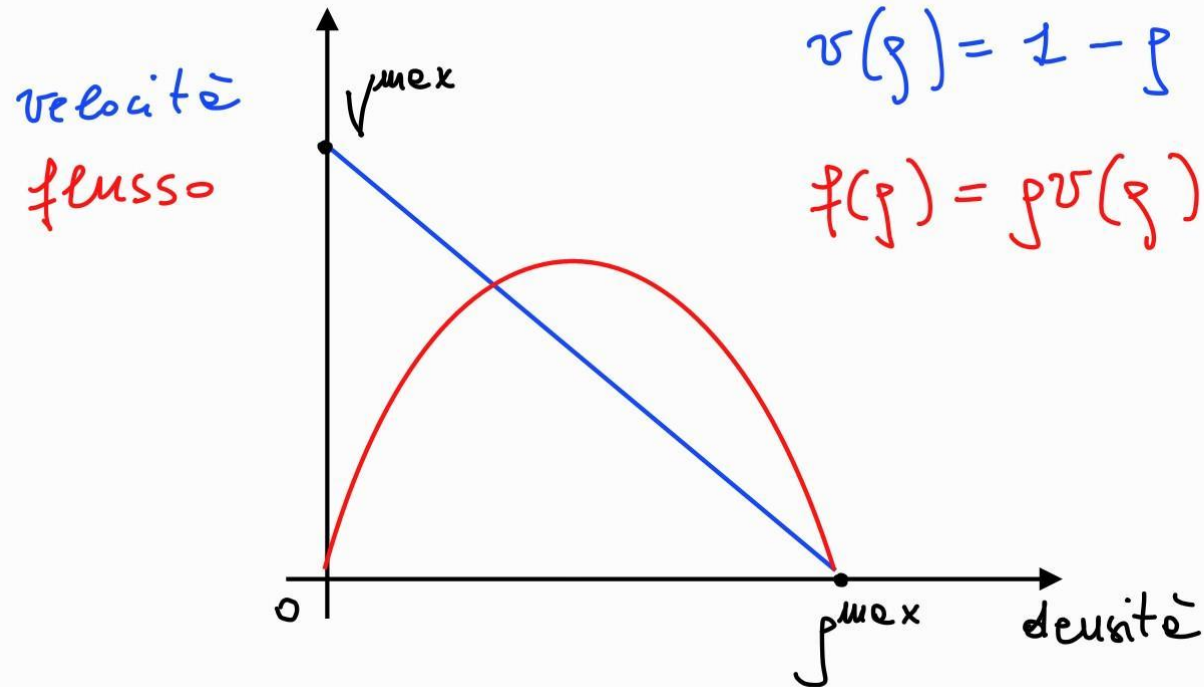
## Modelli Macroscopici



# Il modello di traffico LWR (Lighthill-Whitham-Richards)

Modelli Macroscopici

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \frac{\partial}{\partial x} f(\rho) = 0$$



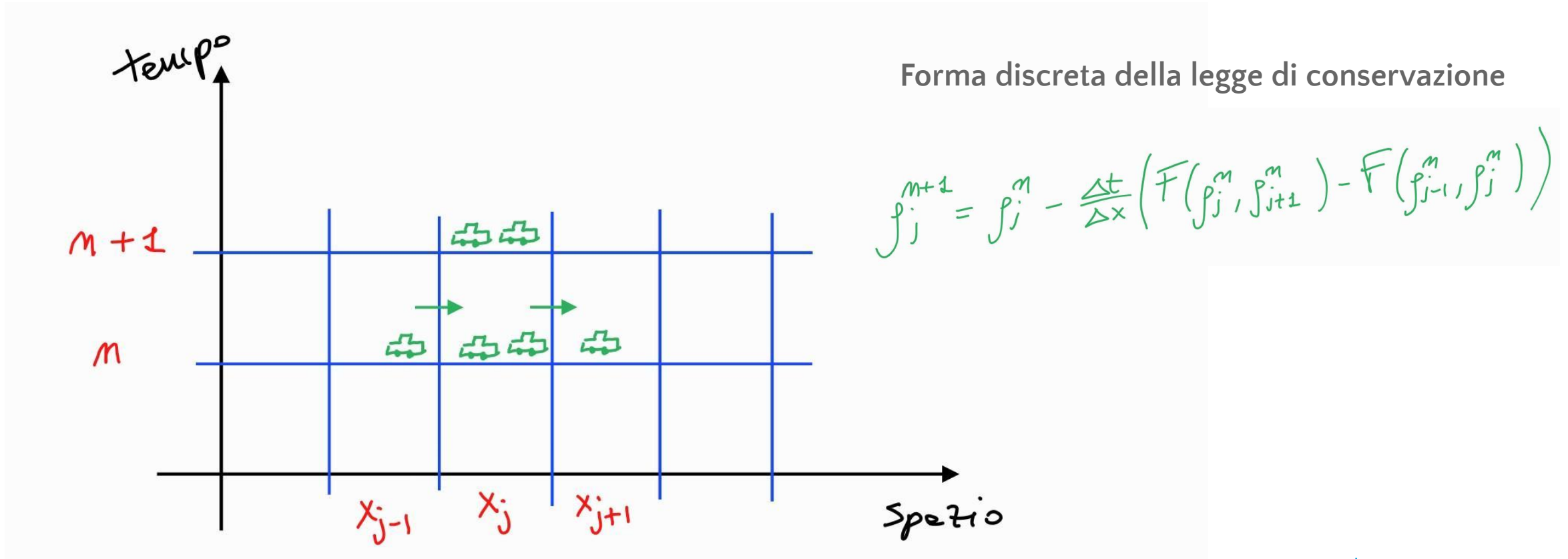
# Algoritmo e Simulazione

Calcolo approssimato delle soluzioni

# Modello di traffico discreto

## Tecniche numeriche e algoritmi

Dividiamo la strada in “celle” e teniamo traccia del numero di veicoli in ogni cella, in momenti discreti

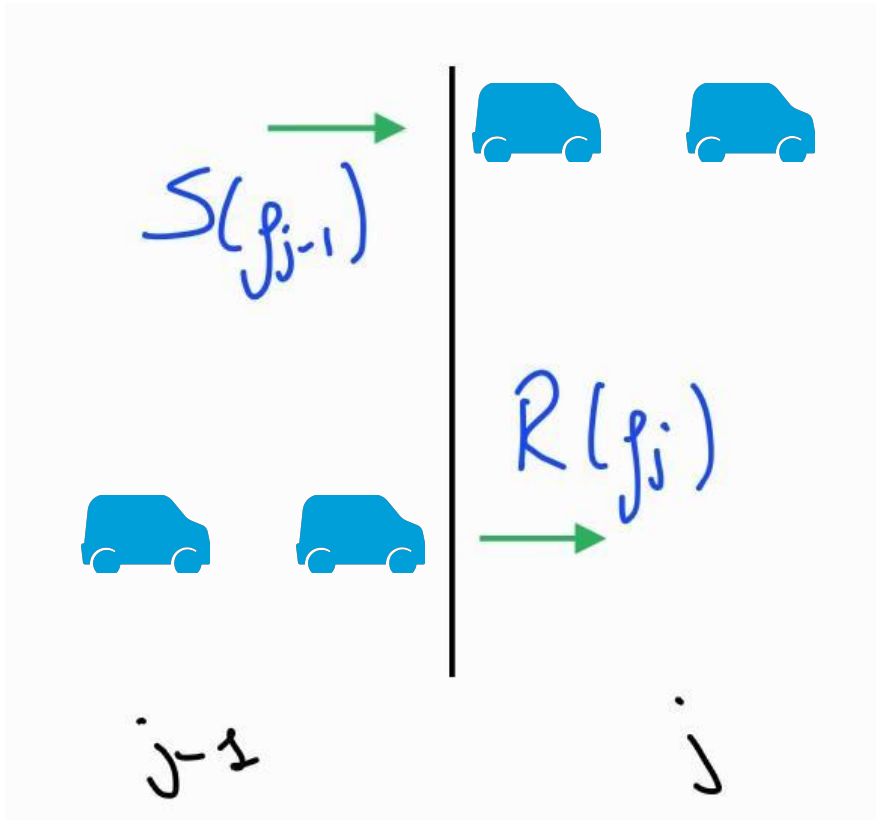


# Modello di traffico discreto

## Tecniche numeriche e algoritmi

$S$  = numero di auto che potrebbero uscire dalla cella  $j-1$  nell'unità di tempo

$R$  = numero di auto che la cella  $j$  può ricevere nell'unità di tempo



$$j_j^{m+1} = j_j^m - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left( F(j_j^m, j_{j+1}^m) - F(j_{j-1}^m, j_j^m) \right)$$

Flusso discreto

$$F(j_{i-1}, j_i) = \text{MIN} \left( S(j_{i-1}), R(j_i) \right)$$

# Algoritmo e Implementazione

## Schema numerico di Godunov o Cell Transmission Model (CTM)

```
Nx = 100;           % numero di celle in cui ho diviso la strada
Nt = 1440;         % numero di passi in tempo
Dx = 4/Nx;        % ampiezza delle celle (lunghezza della strada diviso il numero di celle)
Dt = 24/(Nt-1);   % passo temporale (tempo finale diviso il numero di passi)

% Parto da strada vuota
rho(1,:) = zeros(1,Nx)

for n=2:Nt
    % uso il dato al sensore come dato al bordo in ingresso alla strada
    rho(n+1,1)=rho(n,1) - Dt/Dx * (F(rho(n,1), rho(n,2)) - Flusso_Sensore(n));

    for j=2:Nx-1
        rho(n+1,j)=rho(n,j) - Dt/Dx * (F(rho(n,j), rho(n,j+1)) - F(rho(n,j-1), rho(n,j)));
    end
end

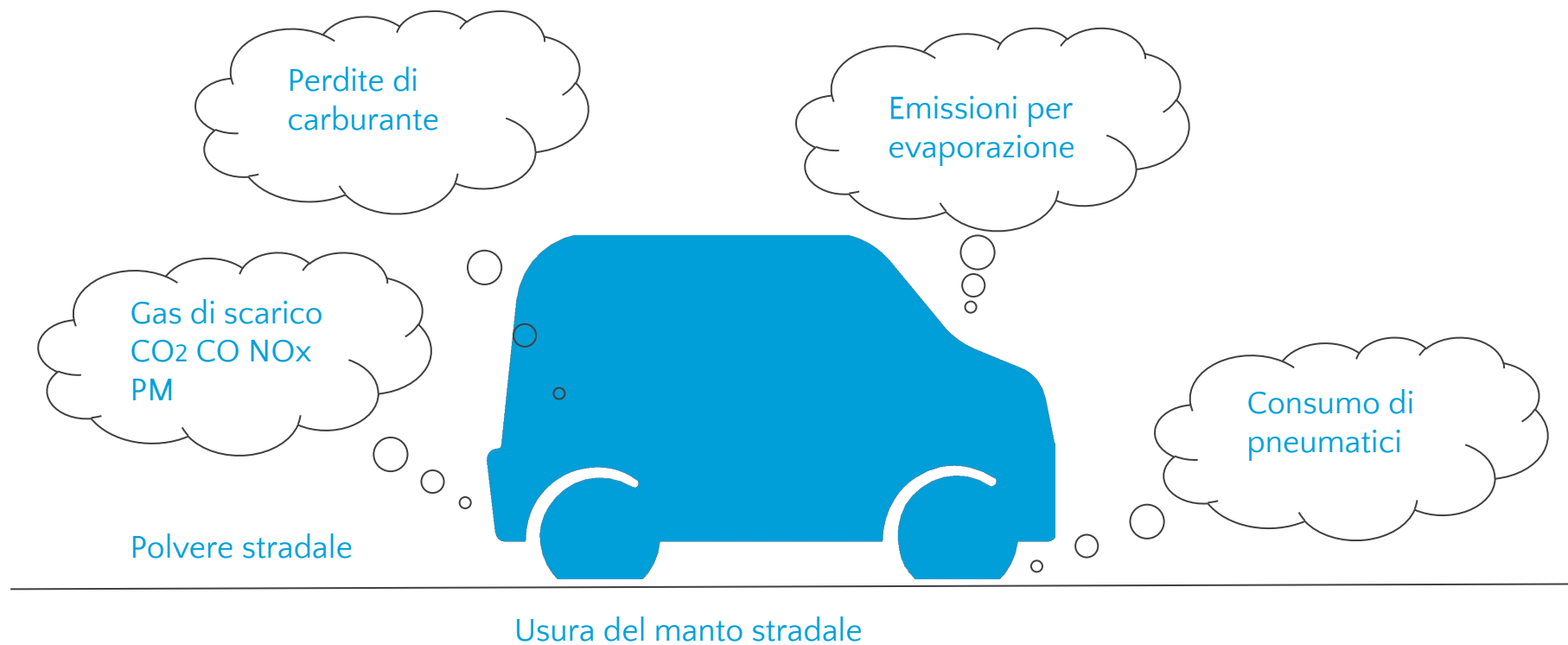
% La matrice rho di dimensione Nt x Nx contiene la simulazione di traffico
```

inserire VIDEO della simulazione!

VIDEO della simulazione

# Applicazione dei dati di traffico

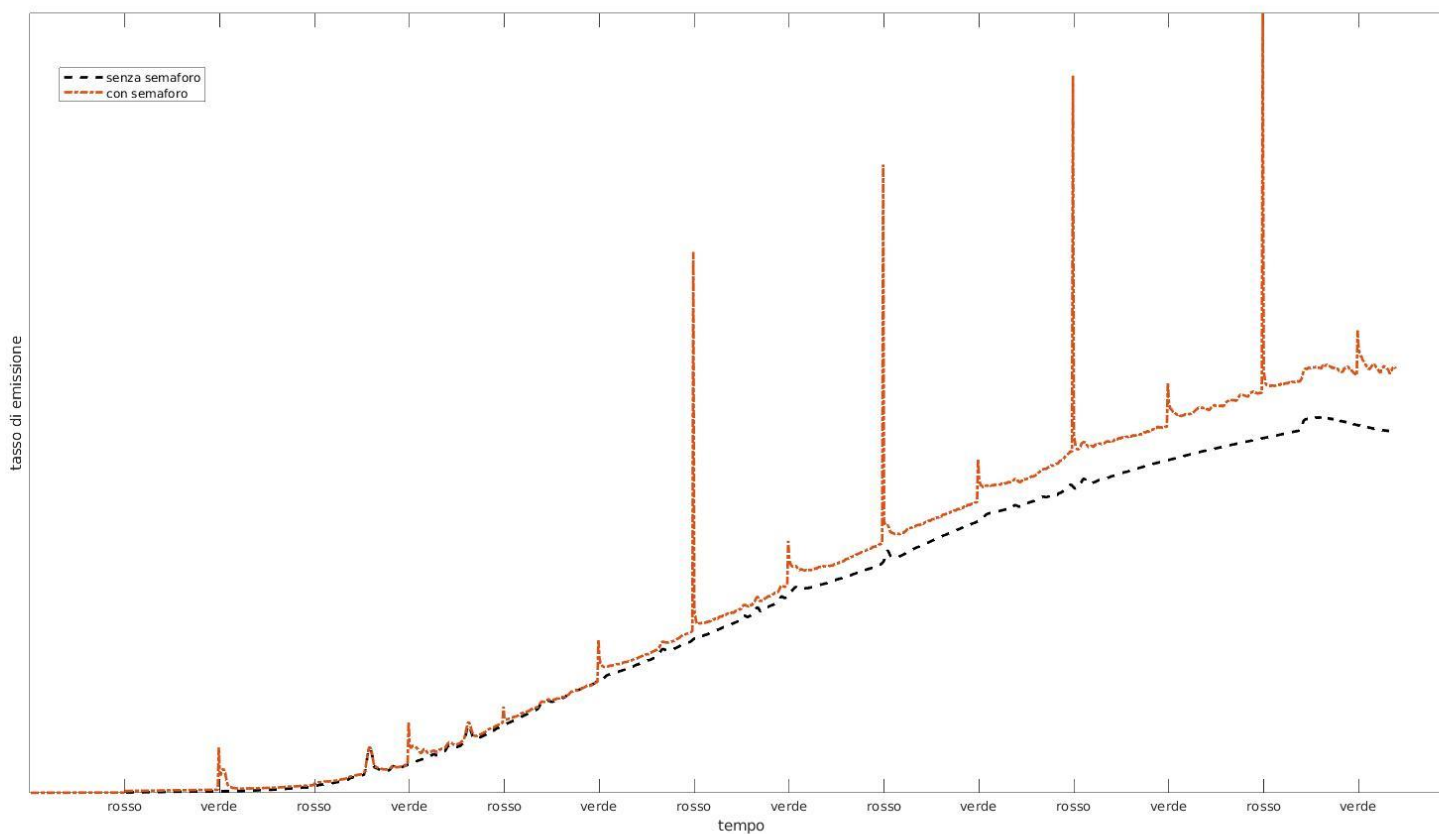
Stima degli inquinanti emessi dai veicoli



# Stima delle emissioni

## Tasso di emissione di NOx

$$E(t) = M \max\{E_0, f_1 + f_2 \bar{v}(t) + f_3 \bar{v}(t)^2 + f_4 \bar{a}(t) + f_5 \bar{a}(t)^2 + f_6 \bar{v}(t) \bar{a}(t)\}$$



$M, E_0, f_1, \dots, f_6$  sono costanti da calibrare in base all'inquinante considerato e al tipo di veicolo (ad es. diesel o benzina)

# Supporto alle decisioni

Previsione, ottimizzazione, controllo



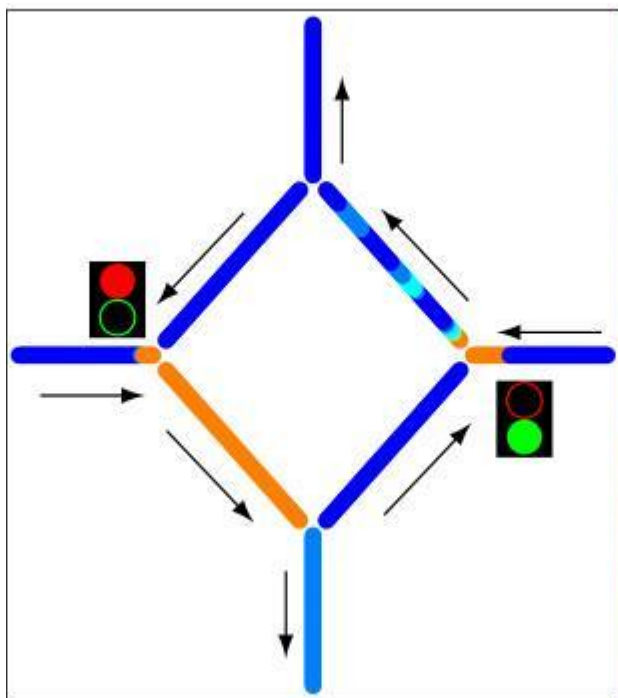
# Supporto alle decisioni

Previsione, ottimizzazione, controllo

Meglio una rotatoria o un incrocio con semafori?

Cosa cambia con un semaforo intelligente?

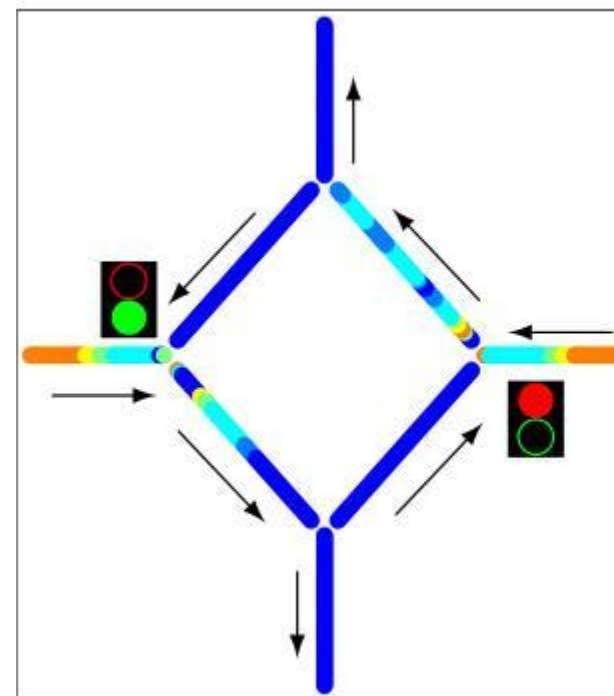
Possiamo minimizzare le emissioni ed ottimizzare i tempi di percorrenza?



Con le macchine elettriche?

Con le macchine a guida autonoma?

... tante domande che indicano quanto sia importante la valutazione modellistica ...



## Per concludere

Da qualche anno alla matematica è stato riconosciuto un ruolo cruciale nell'analisi e risoluzione di problemi che coinvolgono la terra...

Verrà chiamata ad aiutare a definire nuove strategie per la gestione di tematiche importanti, come il riscaldamento globale o l'organizzazione dei trasporti ...

Servono matematici che collaborino con fisici, ingegneri, economisti, architetti, storici dell'arte, ecc ... per capire cause ed effetti, fare previsioni e quantificare la grande incertezza di tali previsioni nel miglior modo possibile!





# MATEMATICA GREEN

## Applicazioni aziendali in A2A

Alice Guerini

# TELERISCALDAMENTO – OTTIMIZZAZIONE CALORE EROGATO

## Il Progetto

Il **focus** del progetto è il **sistema di teleriscaldamento** che trasferisce il calore prelevato dalla rete all'impianto di distribuzione interna dell'edificio, producendo anche l'acqua calda per uso igienico sanitario.

Il progetto è stato sviluppato sulle reti di **Brescia, Milano, Crema, Cremona, Bergamo e Lodi**.



# TELERISCALDAMENTO – OTTIMIZZAZIONE CALORE EROGATO

La soluzione

## OBIETTIVO



Sviluppare un **tool di ottimizzazione dell'energia termica** erogata dagli impianti di teleriscaldamento attraverso una **previsione oraria del carico termico** prodotto dalle centrali.

## PERCHE'



- **Migliorare la pianificazione** ed esercizio degli impianti
- **Riduzione degli sprechi**

## COME



Implementazione di **3 modelli di Machine Learning** basati su alberi decisionali, in grado di sfruttare:

- I **dati storici di energia termica** immessa in rete
- Le caratteristiche specifiche di ciascun periodo dell'anno
- I **dati di previsione di temperatura** per i giorni successivi.

## RISULTATI



Risparmio di **10.000 ton CO2/y** sul solo impianto di **Milano Est**



# ROUTE OPTIMIZATION – OTTIMIZZAZIONE PERCORSO MEZZI DI RACCOLTA

## Il Progetto

Il progetto riguarda l'ottimizzazione del percorso che effettuano quotidianamente i mezzi per la **raccolta dei rifiuti differenziati porta a porta**.

Il progetto è stato effettuato su tutti i quartieri coperti da Amsa, principalmente su **Milano e comuni limitrofi**.



# ROUTE OPTIMIZATION – OTTIMIZZAZIONE PERCORSO MEZZI DI RACCOLTA

La soluzione

## OBIETTIVO



Sviluppare uno strumento per ottimizzare il percorso che devono seguire i mezzi di raccolta sui diversi giorni e sui diversi quartieri

## PERCHÈ



- Migliorare il servizio
- Riduzione dei km percorsi dai mezzi di raccolta

## COME



Implementazione di algoritmi di **clusterizzazione** e **ottimizzazione** in grado di sfruttare:

- I **dati storici** sul percorso effettuato dai mezzi
- I **dati su peso e volume dei conferimenti**
- I **dati gps** e di anagrafica
- I **dati di traffico**

## RISULTATI



Riduzione dei km percorsi del 3%, che sul campione considerato di 8 mezzi corrisponde a **2500 km/anno**, e conseguente **risparmio di CO2**



# CICLO IDRICO – PRIORITIZZAZIONE INTERVENTI SU RETE IDRICA

## Il Progetto

Il progetto riguarda l'**assegnazione automatica** di priorità agli interventi di **manutenzione della rete idrica** per ridurre la quantità di acqua persa.

Il progetto interessa tutte le tubazioni del servizio idrico integrato di **Brescia ed alcuni comuni della provincia**.



# CICLO IDRICO – PRIORITIZZAZIONE INTERVENTI SU RETE IDRICA

La soluzione

## OBIETTIVO



Prioritizzare in modo automatico una lista di interventi di manutenzione da eseguire sulla rete idrica di A2A Ciclo Idrico (ACI).

## PERCHE'



- **Ridurre i costi** dovuti alle perdite d'acqua
- **Migliorare** lo stato dell'infrastruttura e la qualità del servizio

## COME



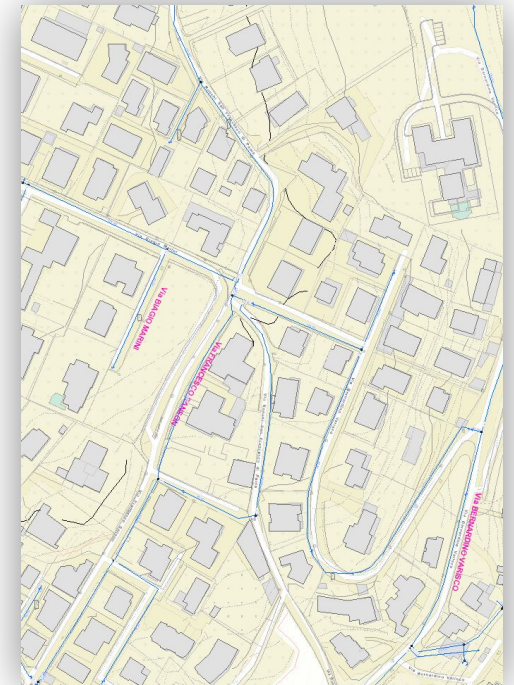
Implementazione di **6 modelli di calcolo** in grado di sfruttare:

- Il **bilancio idrico** di ogni comune (= quantità di acqua persa) ed **informazioni sulle tubazioni** (materiale, pressione, ...)
- I dati sul **numero di interventi e segnalazioni di disservizio** nell'anno precedente
- Il **budget annuale disponibile** per ciascun lotto geografico

## RISULTATI



Riduzione delle perdite idriche da 31,7 m<sup>3</sup>/km/gg a 25,37 m<sup>3</sup>/km/gg in 3 anni



# LE NOSTRE LEVE COME DATA SCIENTIST PER CONTRIBUIRE ALLA SOSTENIBILITA'

Sviluppo di soluzioni di Advanced Analytics completamente **su server in cloud** e non su server fisici presenti nei data center aziendali. Tra le piattaforme cloud maggiormente utilizzate troviamo la Google Cloud Platform (GCP) che condivide con A2A il piano ambizioso di utilizzare energia a zero emissioni di CO2 24 ore su 24 e 7 giorni su 7 in tutti i loro data center entro il 2030. Di seguito alcune numeriche dichiarate da Google:



**78%**

di conferimenti in  
discarica evitati

**2 volte**

più efficiente di un tipico  
data center aziendale

**100%**

di energia rinnovabile per tutte  
le aree geografiche del cloud

**1,1**

metrica PUE (Power Usage  
Effectiveness)



SPAZIO ALLE DOMANDE

GRAZIE

# Scopri e iscriviti ai prossimi appuntamenti

<https://professionigreen.deascuola.it/>

webinar con le classi

15.03.2023 / 11:00 - 12:00

**Professione green:  
complessità e trasversalità**

Serena Giacomini, Teresa  
Agovino, Emilio Mancuso

**ISCRIVITI**

webinar

04.04.2023 / 17:00 - 18:30

**Economista Green**

Fabio Iraldo,  
Scuola Universitaria Superiore  
Sant'Anna di Pisa

**ISCRIVITI**