



Università degli Studi di Milano Bicocca  
**Scuola di Scienze**  
**Dipartimento di Informatica, Sistemistica e Comunicazione**  
**Corso di laurea magistrale in Informatica**

Sistemi Complessi: Modelli e Simulazione

## **Tsunami Evacuation Simulation**

Giuseppe Magazzù  
Gaetano Magazzù

A.A. 2021 - 2022

# Contents

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Background</b>	<b>1</b>
2.1	Rete stradale / Griglia . . . . .	1
2.2	Distribuzione della Popolazione . . . . .	1
2.3	Rifugi . . . . .	1
2.4	Inondazione da Tsunami . . . . .	1
2.5	Casualty Model . . . . .	1
<b>3</b>	<b>Stato dell'arte</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Descrizione del Modello</b>	<b>2</b>
4.1	Ambiente . . . . .	2
4.2	Agenti . . . . .	3
4.2.1	Residenti . . . . .	3
4.2.2	Pedoni . . . . .	3
4.2.3	Auto . . . . .	4
<b>5</b>	<b>Estensione del Modello</b>	<b>5</b>
5.1	Comportamento dei Pedoni . . . . .	5
5.2	Gestione degli Intersezioni . . . . .	6
5.2.1	Regole generali delle intersezioni AWSC e TWSC . . . . .	6
5.2.2	Zona di crossing . . . . .	6
5.2.3	Interazioni auto-auto . . . . .	6
5.2.4	Interazioni pedoni-pedoni . . . . .	7
5.2.5	Interazioni pedoni-auto . . . . .	7
<b>6</b>	<b>Simulazione</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>Analisi</b>	<b>7</b>
<b>8</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>7</b>

# **1 Introduzione**

## **2 Background**

Un modello di evacuazione in caso di tsunami e' composto da diversi elementi.

### **2.1 Rete stradale / Griglia**

L'ambiente può essere rappresentato tramite un grafo in cui i nodi corrispondono alle intersezioni e gli archi alle strade. Gli archi possono avere associate delle informazioni come la lunghezza e la larghezza della strada che permettono di stabilire i tempi di percorrenza e la capacità. Con questa rappresentazione gli agenti possono muoversi solo lungo gli archi.

Un'altra possibile rappresentazione é quella a griglia che consiste in una discretizzazione dello spazio. Questa rappresentazione permette di muovere gli agenti in due dimensioni e sfruttare spazi ampi senza limitarsi alle strade (Makinoshima et al. 2018).

ostacoli, path finding, efficienza

### **2.2 Distribuzione della Popolazione**

La distribuzione spaziale della popolazione al momento dell'evacuazione varia in base a diversi fattori: l'ora del giorno, la stagione, eventi. Inoltre la popolazione può essere composta da residenti e turisti che si comporteranno diversamente al pericolo.

### **2.3 Rifugi**

I rifugi sono dei luoghi sicuri dove evacuare. Si distinguono in luoghi al di fuori della zona a rischio (rifugi orizzontali) o luoghi che si trovano ad una altezza che lo tsunami non raggiunge (rifugi verticali). Solitamente si assume che resistano a terremoti e tsunami e che abbiano una capacità illimitata.

### **2.4 Inondazione da Tsunami**

Le inondazioni da tsunami vengono simulate utilizzando un modello di inondazione che fornisce una serie temporale di altezza e velocità delle onde in una determinata area.

### **2.5 Casualty Model**

Un casualty model defisce quando un individuo viene considerato una vittima. Spesso si utilizza semplicemente l'altezza dello tsunami. In alcuni studi vengono

considerati altri fattori come la velocità e la temperatura dello tsunami o anche l'età e il genere dell'individuo (Yeh 2010).

### 3 Stato dell'arte

## 4 Descrizione del Modello

Il modello considerato Mostafizi et al. 2019 é un sistema multi-agente che prevede l'evacuazione della città di Seaside, Oregon in caso di tsunami di auto e pedoni. L'evacuazione non include le conseguenze del terremoto che avviene prima dello tsunami e viene considerata iniziare alla fine di questo. Il modello è basato sull'uso di dati GIS per la distribuzione della popolazione, la rete stradale ed i rifugi.

Per la distribuzione della popolazione é stato considerato uno scenario a mezzogiorno di un fine settimana di estate, che presenta una maggiore concentrazione di residenti sulla spiaggia e nel centro della città. La popolazione sulla costa e nel centro é distribuita normalmente, mentre quella nella zona residenziale é distribuita uniformemente (Fig. 1).

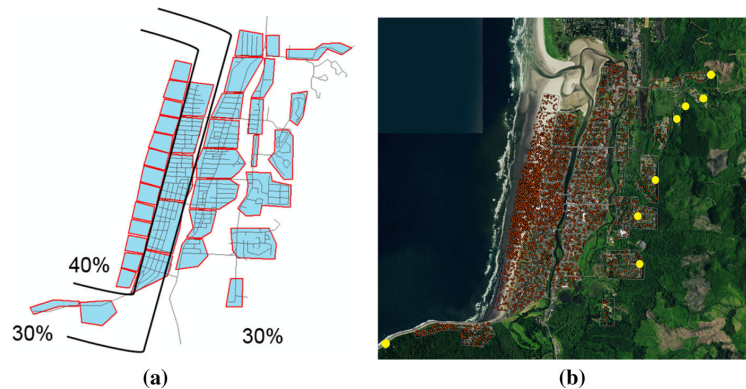


Figure 1: Distribuzione della popolazione nello scenario considerato. (a) Mostra le aree in cui è distribuita la popolazione, divise nelle tre macro aree: costa, centro, zona residenziale. (b) Immagine satellitare con la distribuzione della popolazione.

### 4.1 Ambiente

L'ambiente é composto dalla rete stradale della città con i relativi rifugi e dello tsunami.

La rete stradale é rappresentata da un grafo, i cui nodi corrispondono alle intersezioni e gli archi alle strade. Tutte le strade sono considerate a senso unico, con una sola corsia e con una velocità limite di 55 km/h.

8 delle intersezioni sono marcate come rifugi con capacità illimitata.

Lo tsunami é rappresentato da una griglia discreta, dove ogni cella contiene i valori temporali di altezza delle onde. I dati usati in questo progetto sono quelli calcolati dal modello di inondazione ComMIT/MOST Titov and Gonzalez 1997 per la zona di subduzione della Cascadia.

## 4.2 Agenti

La simulazione può prevedere diversi tipi di agenti: residenti, pedoni e auto.

### 4.2.1 Residenti

All'inizio dell'evacuazione i residenti si trovano all'esterno di edifici e auto e autonomamente scelgono come evacuare. Un residente può scegliere diverse modalità per evacuare: a piedi o in auto e raggiungere un rifugio verticale oppure orizzontale. Una volta che ogni agente decide in che modo evacuare non cambierà scelta per tutta la simulazione.

Il tempo impiegato per prepararsi all'evacuazione (milling time) é modellato tramite la distribuzione di Rayleigh (Eq. 1), con un tempo minimo ( $\tau$ ) di 10 minuti e un parametro di scala ( $\sigma$ ) di 1.65. Questo tempo comprende anche il raggiungimento del veicolo.

$$f(x; \tau, \sigma) = \frac{(x - \tau)^2}{\sigma^2} e^{-(x - \tau)^2 / (2\sigma^2)} \quad (1)$$

Scaduto il tempo di preparazione l'agente si muove verso l'intersezione più vicina e in base alla modalità scelta viene considerato un agente di tipo pedone o auto. L'agente quindi inizia a seguire il percorso più breve per il rifugio più vicino raggiungibile, trovato tramite l'algoritmo A\*.

Gli agenti durante l'evacuazione possono continuare sulla strada attuale o cambiare strada seguendo il percorso, morire se l'altezza dell'onda nel punto in cui si trova é superiore o uguale a un parametro  $H_c$ .

### 4.2.2 Pedoni

La velocità di camminata viene stabilita tramite una distribuzione normale con media 1.21 m/s e deviazione standard 0.20 m/s. La velocità di ogni pedone rimane costante durante tutta l'evacuazione.

### 4.2.3 Auto

Ogni auto contiene una sola persona per considerare il caso peggiore. Le auto possono raggiungere la velocità massima imposta dalla strada, ovvero 55 km/h.

Il comportamento delle auto è modellato tramite il modello car-following, General-Motors.

La teoria sui modelli Car following descrivono come un veicolo ne segue un'altro e cambi il proprio comportamento reagendo a quest'ultimo.

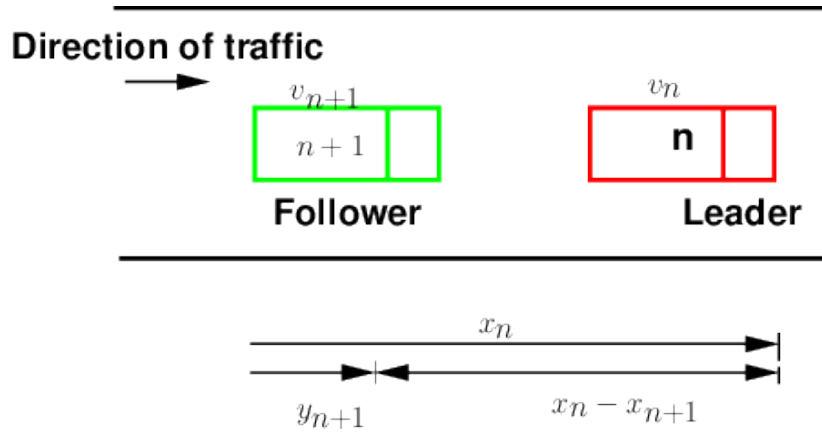


Figure 2: schema generale dei modelli car following, dove  $n+1$  è il veicolo corrente ed  $n$  quello di fronte,  $v_{n+1}$ ,  $v_n$  sono le rispettive velocità, mentre  $x_{n+1}$ ,  $x_n$  sono le rispettive posizioni e  $x_n - x_{n+1}$  è la distanza tra i due veicoli.

Secondo il modello General-Motors ogni auto risponde alle condizioni del traffico circostante esclusivamente accelerando o decelerando, l'accelerazione dipende dalla velocità del veicolo corrente, la sua posizione relativa e la velocità con il veicolo di fronte. Basato sul concetto follow-the leader fondato su due assunzioni principali: più veloce è il veicolo di fronte maggiore sarà la distanza tra i due veicoli, inoltre una certa distanza di sicurezza dall'auto in fronte deve essere mantenuta.

$$a_{n+1}^t = \left[ \frac{\alpha_{l,m} * (v_{n+1}^t)^m}{(x_n^t - x_{n+1}^t)^l} \right] [v_n^t - v_{n+1}^t] \quad (2)$$

Equation 2: qui viene riportata l'equazione principale del modello General-Motors, dove  $l$  è un esponente di distanza con il veicolo di fronte che può assumere valori da  $+4$  a  $-1$ ,  $m$  è un esponente di velocità con valori tra  $-2$  a  $+2$ ,  $\alpha$  è un coefficiente di sensitività.

## 5 Estensione del Modello

In questa sezione verranno descritte le modifiche e le aggiunte effettuate da noi al modello base, ma prima verranno evidenziate le limitazioni e mancanze del modello anche rispetto allo stato dell'arte.

La prima limitazione che si può notare del modello base è la gestione delle interazioni tra i vari agenti, sia prima della partenza che durante l'evacuazione, tale modello infatti considera esclusivamente le interazioni auto-auto tramite il modello Car Following General Motor's, ma non prevede nessuna interazione pedone-pedone o pedone-auto. Nella letteratura sono molti i lavori anche network-based, che considerano una velocità che cambia in base alla congestione sulla strada mentre il nostro modello considera pedoni con una velocità costante per tutta l'evacuazione. Inoltre come anche visto nella letteratura nessun tipo di interazione viene gestita alle intersezioni cosa abbastanza irrealistica. Un'ulteriore limitazione è la scelta dei percorsi sebbene la maggior parte dei lavori in letteratura utilizzino l'algoritmo di A\*star, esistono altri metodi esempio Nash Equilibrium. La rete stradale viene considerata con strade tutte one-way cosa non problematica se tutti gli agenti seguono sempre il percorso più breve per il rifugio più vicino a loro, ma che per altri algoritmi di routing potrebbe essere limitante. Infine nessun tipo di considerazione viene effettivamente applicata sul comportamento dei turisti durante l'evacuazione, che come visto in vari lavori risultò avere un peso notevole specialmente in periodi con tanti visitatori.

Come è stato appena descritto abbiamo visto come le interazioni tra gli agenti abbiano ampio margine per essere rappresentate, in particolare ci si concentrerà sulle interazioni alle intersezioni introducendo meccanismi di cooperazione tra i vari tipi di agente, ed aggiustando la velocità dei pedoni in base alla congestione in modo da poter rappresentare uno scenario più realistico.

### Modifiche alla rete stradale

Prima di descrivere le varie aggiunte in questa sezione verranno elencate le varie modifiche che sono state effettuate alla rete stradale. Tutte le strade della rete sono state considerate come strade locali, ai link della rete è stata aggiunta la larghezza della strada, inoltre la strada viene considerata a two-way per le auto ed sono presenti dei marciapiedi che sono bidirezionali. In accordo con il Transportation System Plan del 2011 della città di Seaside, le strade locali sono composte da due corsie per le auto con una larghezza 34-40' di per una singola corsia, per tale lavoro la larghezza minima di 34' è stata considerata. Inoltre due marciapiedi sono presenti per ambo i lati della strada con una larghezza 5' per ognuno di essi.

### 5.1 Comportamento dei Pedoni

I pedoni se non è presente alcuna auto nell'evacuazione allora percorrono il tragitto in strada, altrimenti procedono esclusivamente sui marciapiedi.

Una variabilità nella velocità di camminata è stata introdotta per i pedoni utilizzando il modello di weidman con una free-flow-speed di 1.34 m/s, ed una jam-density di 5.4 p/m<sup>2</sup>, il calcolo della densità è stato effettuato mediante la density ahead con una search length di 3m, come anche nei seguenti lavori GOTO, Tizio 2021.

Spiegare modello di weidmann.

Infine come verrà successivamente spiegato nella sezione apposita sulle intersezioni, i pedoni agli incroci hanno sempre la precedenza.

## **5.2 Gestione degli Intersezioni**

Per la gestione delle intersezioni esclusivamente gli incroci a 4 strade sono stati considerati e trattati come intersezioni di tipo AWSC(All Way Stop Controlled) o TWSC(Two Way Stop controlled). Tramite l'utilizzo di OpenStreetMap e GoogleMaps, sono state estratte manualmente le informazioni circa la posizione e nel caso dei TWSC la direzione di precedenza di tali tipi di incroci per la città di Seaside, ottenendo la seguente immagine ??.

### **5.2.1 Regole generali delle intersezioni AWSC e TWSC**

Le intersezioni di tipo AWSC funzionano secondo le seguenti regole i pedoni hanno sempre la precedenza, dopodiché il primo che arrivò ha precedenza. Nel caso in cui più auto arrivano contemporaneamente la destra ha precedenza, se possono passare contemporaneamente vanno insieme. Mentre nel caso di intersezioni di tipo TWSC, vale la stessa regola per i pedoni, coloro che viaggiano nella strada con precedenza hanno il via libera, il verso opposto aspetta finché non ci sono più auto con precedenza.

### **5.2.2 Zona di crossing**

Per la gestione delle intersezioni viene introdotta la gestione di zone di attraversamento agli incroci sia per le auto che per i pedoni, per quest'ultimi rappresentano delle vere e proprie strisce di attraversamento pedonale che sono rappresentate da delle code, ed i pedoni hanno la precedenza sulle auto. Le intersezioni rappresentano il punto di collegamento tra due link, nel caso di incroci una certa porzione di strada prima e dopo l'intersezione rappresenta la zona di attraversamento. immagine per zona di crossing tra due link di esempio con diverse misure per auto e pedoni.

(dettagli stato dell'intersezione e link dell'incrocio)

### **5.2.3 Interazioni auto-auto**

risoluzione di conflitti e precedenze (spiegare dettagli)



#### 5.2.4 Interazioni pedoni-pedoni

non cambia nulla sostanzialmente nel tratto definito come zona di crossing i pedoni stanno attraversando le strisce e vengono aggiunti alle relative code quando iniziano l'attraversamento e rimossi quando lasciano l'incrocio. (spiegare dettagli)

#### 5.2.5 Interazioni pedoni-auto

in qualsiasi momento attraversando l'incrocio, se nelle relative strisce pedonali è presente un pedone l'auto si ferma subito. (spiegare dettagli)

## 6 Simulazione

Distribuzione auto/pedoni gestita dai parametri...

Lista parametri

- R1\_HorEvac\_Foot
- R2\_HorEvac\_Car
- R3\_VerEvac\_Foot
- R4\_VerEvac\_Car
- Hc
- Tc
- Ped\_Speed
- Ped\_Sigma
- max\_speed
- acceleration
- deceleration
- alpha
- Rtau
- Rsig

Monte-Carlo simulation mostly with 10 times repetition

## 7 Analisi

## 8 Conclusioni

## References

- Makinoshima, Fumiyasu, Fumihiko Imamura, and Yoshi Abe (2018). "Enhancing a tsunami evacuation simulation for a multi-scenario analysis using parallel computing". In: *Simulation modelling practice and theory* 83, pp. 36–50.
- Mostafizi, Alireza et al. (2019). "An agent-based vertical evacuation model for a near-field tsunami: Choice behavior, logical shelter locations, and life safety". In: *International journal of disaster risk reduction* 34, pp. 467–479.
- Titov, Vasily V and Frank I Gonzalez (1997). "Implementation and testing of the method of splitting tsunami (MOST) model". In.
- Yeh, Harry (2010). "Gender and age factors in tsunami casualties". In: *Natural Hazards Review* 11.1, pp. 29–34.