

LA PREVENZIONE DEL RISCHIO COVID: UNA POSSIBILITÀ DALLA POST PROCESSAZIONE DEI DATI DEI SOFTWARE DI ANALISI DELLE FOLLE

*Politecnico di Torino - Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica – Anno Accademico
2020/2021*



Studente:

Marco BOESSO s266632

Relatori:

Prof. Ing. Marco Carlo MASOERO

Ing. Rugiada SCOZZARI

IN SINTESI

La pandemia di Covid-19 ha imposto un ripensamento sulla sicurezza negli spazi chiusi e concernente l'organizzazione di grandi eventi: ai classici aspetti di sicurezza si è infatti aggiunta la necessità di minimizzare i rischi di contagio, data la grande circolazione del virus e il conseguente forte rischio di mettere sotto pressione il sistema sanitario.

Si è partiti dalle conoscenze acquisite mediante gli studi pregressi sulla dinamica delle folle e dall'osservazione delle implicazioni fisiche e psicologiche del distanziamento sociale, al momento il principale strumento di prevenzione: questo, infatti, entra in conflitto con il senso di identità e di sicurezza che scaturisce dal far parte di una folla da un lato, mentre dall'altro vengono influenzati i movimenti delle persone e le possibili scelte, in termini di obiettivi e di percorso.

Successivamente si illustra il modello EXPOSED, che è stato elaborato per stimare il rischio di contagio legato a particolari configurazioni adottate per garantire il distanziamento sociale prima menzionato.

Fatto ciò, si prosegue con l'illustrazione delle varie fasi dell'algoritmo che consente la valutazione del rischio: si parte dalla modellazione dello scenario fino ad arrivare alla valutazione finale che servirà per promuovere o bocciare le scelte poste sotto esame.

Conclude la prima parte un'introduzione a Pathfinder, il programma che viene utilizzato per la modellazione degli scenari e delle folle allo scopo di produrre i risultati da cui parte l'analisi per la sicurezza sanitaria.

Nel secondo capitolo viene fatto un rapido excursus sul concetto di sicurezza, su come possa essere declinato da un punto di vista sanitario e come ciò indichi quali siano i parametri di cui dovrà essere studiato l'andamento ai fini delle determinazioni finali. Viene illustrato quindi il funzionamento del software sviluppato per poter eseguire la processazione dei dati provenienti da Pathfinder, allo scopo di effettuare le valutazioni necessarie.

Successivamente vengono illustrati dei casi studio, in maniera tale da illustrare come l'algoritmo reagisce variando le condizioni indicate come rischiose. Per ciascun caso vengono illustrati e commentati i risultati. Verrà inoltre utilizzato il software per fare delle considerazioni di natura generale su come i risultati delle analisi siano influenzati dalle caratteristiche dello scenario oggetto della simulazione.

Concludono delle considerazioni finali sull'eventuale futuro che possa avere tale processo di determinazione della sicurezza sanitaria, alla luce anche dei moniti che sono provenuti dagli scienziati nel 2019.

INDICE DEI CONTENUTI

IN SINTESI	2
1. ANALISI DEL PROBLEMA	5
1.1. INTRODUZIONE.....	5
1.2. VERSO UNA SOLUZIONE	6
1.3. ANALISI DELLA DINAMICA DEGLI INDIVIDUI E DELLE FOLLE	8
1.3.1. IL CONCETTO DI “FORZA SOCIALE”	8
1.4. ASPETTI CRUCIALI DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE	11
1.4.1. ASPETTI PSICOLOGICI DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE	11
1.4.2. CALCOLO DELLA DISTANZA FISICA E UTILIZZO DELLO SPAZIO.....	12
1.4.3. IMPATTO DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE SULLA SCELTA DEL PERCORSO.....	13
1.4.4. IMPATTO DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE SUI MOVIMENTI	13
1.5. DETERMINAZIONE DEL RISCHIO	15
1.5.1. UN ESEMPIO DI MODELLO DI VALUTAZIONE: EXPOSED	17
1.6. METODOLOGIA DI DETERMINAZIONE DEL RISCHIO.....	18
1.7. INTRODUZIONE A PATHFINDER.....	21
2. ESECUZIONE DEL CODICE	31
2.1. INTRODUZIONE AL CONCETTO DI SICUREZZA	31
2.2. IL RISCHIO DI CONTAGIO E L’ANALISI DI PROSSIMITÀ.....	35
2.3. ESECUZIONE DELLA FASE 6.....	37
2.3.1. ESTRAZIONE DEI DATI DAL FILE IN INGRESSO	38
2.3.2. INDIVIDUAZIONE DELLE INTERAZIONI	39
2.3.3. ELABORAZIONE DEI RISULTATI FINALI	40
3. CASO STUDIO: IL CENTRO COMMERCIALE	51
3.1. DESCRIZIONE DELLA GEOMETRIA.....	51
3.2. ILLUSTRAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEGLI OCCUPANTI	52
3.2.1. CARATTERISTICHE DI BASE	52
3.2.2. PARAMETRI DI MOVIMENTO.....	53
3.2.3. PREFERENZE SUI RISULTATI IN USCITA.....	53
3.2.4. PARAMETRI AVANZATI	54
3.2.5. DEFINIZIONE DEI MOVIMENTI E DEI COMPORTAMENTI.....	55
3.2.6. SIMULAZIONE	57
3.3. CONFRONTO CON L’APPLICAZIONE “IMMUNI”	58
3.2.1. ESAME DELLA MATRICE “E” E CONSIDERAZIONI.....	60
3.2.2. TEST ANOVA SULLA DISTRIBUZIONE DEI TEMPI DI INTERAZIONE.....	62

3.2.3.	STUDIO DELLA MASSIMA INTERAZIONE CONTINUATIVA TRA LE COPPIE E DELLE INTERAZIONI DEGLI UTENTI.....	64
3.2.4.	STUDIO DEL NUMERO DI ESPOSIZIONI PER CIASCUN UTENTE.....	66
3.2.5.	STUDIO DEI TEMPI DI ESPOSIZIONE CUMULATI	67
3.2.6.	CONSIDERAZIONI FINALI.....	67
3.4.	DISTANZIAMENTO RAFFORZATO.....	69
3.4.1.	ESAME DELLA MATRICE “E” E CONSIDERAZIONI.....	69
3.4.2.	TEST ANOVA SULLA DISTRIBUZIONE DEI TEMPI DI INTERAZIONE.....	70
3.4.3.	STUDIO DELLA MASSIMA INTERAZIONE CONTINUATIVA TRA LE COPPIE E DELLE INTERAZIONI DEGLI UTENTI.....	72
3.4.4.	STUDIO DEL NUMERO DI ESPOSIZIONI PER CIASCUN UTENTE.....	74
3.4.5.	STUDIO DEI TEMPI DI ESPOSIZIONE CUMULATI	75
3.4.6.	CONSIDERAZIONI FINALI.....	75
3.5.	ALTRE CONSIDERAZIONI	76
3.5.1.	ANDAMENTO DEL NUMERO MASSIMO DI INTERAZIONI IN FUNZIONE DEL NUMERO DI AGENTI DENTRO LA SIMULAZIONE.....	76
3.5.2.	ANDAMENTO DEL NUMERO MEDIO DI INTERAZIONI IN FUNZIONE DEL NUMERO DI AGENTI DENTRO LA SIMULAZIONE.....	78
3.5.3.	ANDAMENTO DEI TEMPI MEDI ASSOCIATI A NUMERI DI INTERAZIONI Istantanee	78
3.5.4.	ANDAMENTO DEL NUMERO DI INTERAZIONI Istantanee RISPETTO AL PARAMETRO DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE	82
3.5.5.	ANDAMENTO DEL NUMERO DI INTERAZIONI PRO-CAPITE RISPETTO AL PARAMETRO DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE.....	84
3.5.6.	ANDAMENTO DEL TEMPO DI INTERAZIONE PRO-CAPITE RISPETTO AL PARAMETRO DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE.....	86
3.5.7.	ANDAMENTO DEL NUMERO DI INTERAZIONI PRO-CAPITE RISPETTO AL NUMERO DI AGENTI DI SIMULAZIONE.....	89
3.5.8.	ANDAMENTO DEL TEMPO DI INTERAZIONE PRO-CAPITE RISPETTO AL NUMERO DI AGENTI DI SIMULAZIONE	92
4.	CONCLUSIONI	95
5.	BIBLIOGRAFIA	96

1. ANALISI DEL PROBLEMA

1.1. INTRODUZIONE

La pandemia di COVID – 19 che sta sconvolgendo il mondo dal dicembre 2019 (i primi casi documentati a Wuhan, nella provincia di Hubei, della parte centro – meridionale della Repubblica Popolare Cinese, risalgono alla metà di quel mese) sta costringendo tutte le nazioni a prendere provvedimenti per la prevenzione del contagio: distanziamento sociale, divieto di “assembramenti”, chiusura di scuole e università, ricorso al lavoro telematico ove possibile, chiusura anticipata di negozi, bar e ristoranti, obbligo di indossare le mascherine, coprifuoco notturno, quarantene totali di intere regioni o nazioni. Tutte queste misure si sono rivelate necessarie nell’ottica di una situazione epidemiologica molto difficile da gestire, che potrebbe portare al collasso del sistema sanitario.

In questo scenario, che ad oggi non lascia intravedere una conclusione nell’immediato sebbene sia iniziata la campagna di vaccinazione, è necessario ripensare anche al concetto di sicurezza negli spazi chiusi. Originariamente, il concetto di sicurezza in un edificio, da un punto di vista ingegneristico, si articola in sicurezza strutturale, sicurezza elettrica e sicurezza antincendio. Questi ambiti sono stati ampiamente visitati dal normatore tramite opportune leggi e opportuni criteri di “buona tecnica”.

A questi aspetti di sicurezza “tradizionali”, lo scenario pandemico aggiunge anche un aspetto di sicurezza sanitaria, volta a prevenire il contagio in questi edifici. Alcune misure di sicurezza sono basilari e demandate alla popolazione e ai proprietari degli edifici, come per esempio l’obbligo di indossare le mascherine, la disposizione di mantenere un distanziamento sociale dalle persone non conviventi o mettere a disposizione dei distributori di liquido disinfettante a base alcolica all’ingresso e anche all’interno, nel caso in cui si parli di strutture di grandi dimensioni. Tali misure sono, però, insufficienti: saranno da adottarsi anche altri provvedimenti, come per esempio gli ingressi scaglionati, percorsi a senso unico o a senso unico alternato, presi ad un livello decisionale più elevato e specializzato, che si serve anche dell’ausilio di opportune strumentazioni; tutto ciò è volto a garantire un livello di sicurezza sanitaria ancora più elevato.

1.2. VERSO UNA SOLUZIONE

L'interesse si orienta verso le modalità con cui è possibile garantire un livello di sicurezza sanitario superiore a quello basilare, caratterizzato dall'adozione delle misure già elencate nel paragrafo precedente.

Allo scopo di ponderare le varie soluzioni a tale questione e scegliere quelle più adeguate, si è deciso di utilizzare dei programmi che valutino i movimenti delle grandi folle. Questi sono parte, tradizionalmente, della sicurezza antincendio, di cui un aspetto fondamentale è il tempo di evacuazione: si ricorda infatti che l'impiantistica serve per gestire degli incendi di piccole dimensioni, mentre l'unica soluzione per incendi di maggiori dimensioni resta la fuga in tempo utile. Questi programmi sono utilizzati proprio per valutare il tempo di evacuazione di grandi folle, tramite il calcolo del "tempo richiesto per un'uscita sicura" (traduzione dell'acronimo inglese REST, Required Egress Safe Time), nonché per ottenere una modellizzazione del comportamento della stessa durante l'evacuazione (Ronchi, Lovreglio, Scozzari, & Fronterre, 2020).

Questi due risultati vengono poi combinati per definire quale sia il massimo numero di persone che possono essere presenti in uno spazio chiuso o in un grande spazio aperto: quest'ultimo aspetto è diventato di elevato interesse in Italia dopo i drammatici avvenimenti di cronaca legati agli incidenti di Piazza San Carlo a Torino, durante la finale di Champions League il 3 giugno 2017 tra Juventus e Real Madrid, e della discoteca di Corinaldo, in provincia di Ancona, il 7 dicembre 2018.

Questi programmi permettono non solo di valutare il comportamento della folla nel suo complesso, ma anche il comportamento di ciascuna persona, valutando i suoi movimenti durante l'arco di tutta la simulazione e potendo costruire, in base a questi dati, anche un'equazione parametrica associata a ciascun occupante (Ronchi & Lovreglio, 2020). Si può quindi subito riconoscere come l'uso di queste risorse possa essere un punto di partenza per simulare il comportamento delle persone all'interno degli spazi chiusi o anche dei grandi spazi aperti. Si deve tener presente, dall'altro lato, che queste soluzioni sono nate per scopi particolari e che, soprattutto, non hanno tenuto conto di una possibile situazione pandemica. Indi, bisogna ricordare che per utilizzare questi programmi sarà necessario adottare degli opportuni accorgimenti.

Innanzitutto, cambia il risultato che si cerca: in uno scenario pandemico come quello attuale, diventa importante effettuare un'analisi di prossimità, perché è importante valutare l'esposizione di ciascuna persona alle altre, in relazione alla propria ubicazione e viene confrontata con il distanziamento fisico (Ronchi, Lovreglio, Scozzari, & Fronterre, 2020).

Il nuovo risultato, inoltre, deve essere ottenuto partendo da delle corrette ipotesi iniziali e corretti dati d'ingresso. Per esempio, si deve ricordare che si sta simulando non un'evacuazione, che avviene muovendosi verso l'uscita più vicina, bensì il movimento ordinario delle persone all'interno di uno spazio chiuso. Inoltre, le persone saranno interessate a mantenere tra di loro le distanze che sono state indicate dalle varie autorità, che sono superiori a quelle usuali. Questi due esempi hanno delle ripercussioni su parametri come la densità di persone per unità di superficie, la velocità delle stesse e il flusso attraverso le porte (Ronchi, Lovreglio, Scozzari, & Fronterre, 2020).

I risultati ottenuti da questo tipo di programmi devono poi essere letti attraverso dei modelli epidemiologici e matematici validi, in maniera tale da poter definire il rischio di contagio. Quest'ultimo passaggio viene effettuato per mezzo di due studi distinti: l'analisi di prossimità e la

determinazione dell'esposizione degli occupanti, due metodi che possono sembrare molto simili ma con una differenza concettuale importante. L'analisi di prossimità, infatti, serve per determinare quanto sono vicini tra di loro i vari agenti della simulazione, e si basa sull'assunzione che il rischio di contagio aumenta col diminuire delle distanze interpersonali, mentre invece l'esposizione può essere determinata anche secondo altre ipotesi o assunzioni, anche non legate a quella precedentemente esposta (Ronchi, Lovreglio, Scozzari, & Fronterre, 2020).

È quindi necessario, prima di procedere con la trattazione del problema ed una sua possibile soluzione, impadronirsi dei principi di movimento degli individui e delle folle all'interno delle simulazioni.

Successivamente, saranno illustrati gli aspetti correlati al distanziamento sociale, in modo da avere una conoscenza necessaria ad una modellazione efficace del comportamento delle folle in questo nuovo scenario.

1.3. ANALISI DELLA DINAMICA DEGLI INDIVIDUI E DELLE FOLLE

In questa parte si esaminano i risultati dei vari studi condotti a riguardo del movimento delle persone e delle folle, fornendo delle basi consistenti su cui creare una modellazione efficace per le simulazioni.

1.3.1. IL CONCETTO DI “FORZA SOCIALE”

Si è osservato che il movimento delle persone può essere studiato per mezzo di quantità misurabili come la posizione \vec{r}_α e la velocità \vec{v}_α , dove α rappresenta il pedone generico. La trattazione è stata sviluppata negli anni '90 (Helbing & Molnár, 1995) per mezzo di analisi secondo i modelli della gasdinamica, per arrivare all'introduzione del concetto di “forza sociale”, agente nell'ambito del microscopico. Questo è in contrasto con l'idea comune dell'imprevedibilità del comportamento umano: questa caratteristica rimane valida in situazioni estreme, mentre è possibile, al contrario, effettuare relativamente a dei casi semplici una trattazione stocastica, nell'ambito quindi della teoria probabilità, su una base consistente di popolazione. Su questi presupposti si innestano le teorie del “campo sociale” e della “forza sociale”.

È ben noto che uno stimolo ambientale causa nella persona una reazione comportamentale, variabile da individuo a individuo e che viene scelta tra un ventaglio di opzioni secondo un criterio di massima utilità. Questi stimoli possono essere classificati come semplici, tipici di situazioni comuni, o complessi, cioè afferenti a situazioni fuori dall'ordinario. Il dominio di questa teoria è quello degli stimoli semplici e ordinari, che portano a delle reazioni automatiche e prevedibili. All'interno di questo dominio si trova il movimento dei pedoni, in quanto una persona viene sottoposta a delle situazioni a cui si trova avvezza, e quindi prenderà delle decisioni sulla base dell'esperienza e in maniera automatica. Ciò giustifica la creazione di equazioni del moto che rappresentino il moto delle persone, dove la velocità \vec{w}_α subisce delle variazioni $\frac{d\vec{w}_\alpha}{dt}$ causate da una forza \vec{F}_α : questa è la forza sociale, che rappresenta l'effetto dei condizionamenti da parte dell'ambiente. Si chiarisce, infatti, che secondo questo modello è la reazione della persona, e non l'ambiente, che agisce sulla stessa; la reazione, a sua volta, produce come effetto l'accelerazione, positiva o negativa, esattamente come se fosse il risultato di una forza agente.

Si vuole, a questo punto, comprendere quali siano gli stimoli afferenti a questa trattazione a cui può essere sottoposta una persona:

- voler raggiungere una destinazione in maniera comoda. Una persona tenderà a percorrere, allo scopo, la via più breve possibile. Tale percorso sarà rettilineo o, per estensione, poligonale. La direzione di movimento può essere calcolata, rigorosamente, come:

$$\vec{e}_\alpha(t) = \frac{\vec{r}_\alpha^k - \vec{r}_\alpha(t)}{\|\vec{r}_\alpha^k - \vec{r}_\alpha(t)\|}$$

Dove \vec{r}_α è la posizione effettiva della persona α nel tempo, mentre \vec{r}_α^k rappresenta la destinazione programmata durante il percorso (che può essere la destinazione finale o una tappa intermedia). Tale traiettoria verrà percorsa con una velocità desiderata, nota come v_0^α e rappresentabile vettorialmente come $\vec{v}_0^\alpha = v_0^\alpha \vec{e}_\alpha(t)$. Qualsiasi discostamento da tale velocità, imputabile a decelerazioni programmate (come per il cambio di direzione) o all'evitamento di ostacoli improvvisi, è transitorio e il pedone tenderà a tornare alla velocità

originaria dopo un tempo di rilassamento τ_α . Queste considerazioni portano al primo termine della forza sociale:

$$\vec{F}_\alpha^0(\vec{v}_\alpha, v_0^\alpha \vec{e}_\alpha) = \frac{1}{\tau_\alpha} (v_0^\alpha \vec{e}_\alpha - \vec{v}_\alpha)$$

- il moto delle persone è influenzato non solo dalla velocità desiderata, ma anche dalla presenza nelle vicinanze di altre persone: interviene quindi la densità di persone per unità di spazio. Entra, infatti, in gioco lo spazio personale delle persone, che può essere interpretato come un effetto territoriale e può portare ad una sensazione di disagio nell'avvicinarsi ad altre persone, a causa dell'imprevedibilità delle loro reazioni e della possibilità che queste siano aggressive. Questo porta ad un effetto di repulsione dal generico pedone β , che può essere scritto come:

$$\vec{f}_{\alpha\beta}(\vec{r}_{\alpha\beta}) = -\nabla_{\vec{r}_{\alpha\beta}} V_{\alpha\beta}[b(\vec{r}_{\alpha\beta})]$$

Il potenziale di repulsione $V_{\alpha\beta}$ è una funzione monotona decrescente di b con linee equipotenziali (si sta parlando di un ambiente di studio bidimensionale) che hanno la forma di un'ellisse orientata secondo la direzione del moto, a causa del fatto che la persona ha bisogno di spazio aggiuntivo per effettuare il passo seguente. La variabile b riportata nella formula denota il semiasse minore dell'ellisse ed è pari a:

$$2b = \sqrt{(\|\vec{r}_{\alpha\beta}\| + \|\vec{r}_{\alpha\beta} - v_\beta \Delta t \vec{e}_\beta\|)^2 - (v_\beta \Delta t)^2}$$

Nella formula $\vec{r}_{\alpha\beta}$ rappresenta la distanza relativa tra le due persone α e β . Questo modello è senza dubbio semplice ma illustra, in modo efficace, come le persone evitino la collisione. La persona, inoltre, si tiene a distanza da possibili ostacoli quali la strada, i bordi degli edifici o le pareti. Detto questo ostacolo B , si può scrivere un effetto di repulsione analogo a quello considerato:

$$\vec{F}_{\alpha B}(\vec{r}_{\alpha B}) = -\nabla_{\vec{r}_{\alpha B}} U_{\alpha B}(\|\vec{r}_{\alpha B}\|)$$

I termini sono analoghi a quelli visti nel caso precedente.

- I pedoni sono attratti, per converso, da alcune persone o da alcuni oggetti. Anche questi effetti di attrazione possono essere modellati secondo una variabile così descritta:

$$\vec{f}_{\alpha i}(\|\vec{r}_{\alpha i}\|, t) = -\nabla_{\vec{r}_{\alpha i}} W_{\alpha i}(\|\vec{r}_{\alpha i}\|, t)$$

Tale funzione segue lo stesso schema concettuale degli effetti repulsivi, ma in questo caso il potenziale $W_{\alpha i}$ è monotono crescente e dipende dal tempo, in quanto dopo un certo periodo l'interesse si disperde.

Queste formule di attrazione e di repulsione sono valide solo per ciò che viene percepito all'interno di un campo visivo di ampiezza 2φ avente come bisettrice la direzione $\vec{e}_\alpha(t)$, mentre ciò che esula da questo campo visivo avrà un'influenza ridotta, esprimibile per mezzo di un parametro c compreso tra zero e uno. Si può riassumere questa trattazione per mezzo di un parametro definito come:

$$w(\vec{e}, \vec{f}) = \begin{cases} 1 & \text{se } \vec{e} \cdot \vec{f} \geq \|\vec{f}\| \cos \varphi \\ 0 \leq c \leq 1 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

La forza effettiva sarà quindi pari a:

$$\vec{F} = w\vec{f}$$

Si possono definire quindi la forza totale agente $\vec{F}_\alpha(t)$ e il modello di forza sociale:

$$\frac{d\vec{w}_\alpha}{dt} = \vec{F}_\alpha(t) + \text{fluttuazioni}$$

Il termine di fluttuazione dipende da delle variazioni casuali o intenzionali che allontanano il caso in oggetto da quello prima definito in senso stretto e corrispondente alle azioni abituali. Per completare questa trattazione bisogna definire la relazione tra la velocità della persona $\vec{v}_\alpha(t)$, la velocità desiderata $\vec{w}_\alpha(t)$ e la velocità massima accettabile v_α^{max} . Il problema viene risolto adottando il seguente modello:

$$\vec{v}_\alpha(t) = \vec{w}_\alpha(t) * g$$

$$g = g\left(\frac{v_\alpha^{max}}{\|\vec{w}_\alpha\|}\right) = \begin{cases} 1 & \text{se } \|\vec{w}_\alpha\| \leq v_\alpha^{max} \\ v_\alpha^{max} / \|\vec{w}_\alpha\| & \text{altrimenti} \end{cases}$$

La trattazione è stata effettuata, si ricorda, analizzando delle situazioni ordinarie. I programmi che verranno utilizzati per lo studio dei movimenti delle folle afferiscono, al contrario, a situazioni di emergenza, quindi per loro stessa natura differenti: un'emergenza è una situazione che richiede delle reazioni a situazioni di pericolo, naturali o scaturite dall'uomo, che possono mettere a rischio vite umane e in cui il fattore tempo è determinante (ossia, sono necessarie delle reazioni tempestive). La strategia generalmente seguita nelle situazioni di emergenza consiste nell'evacuazione, che viene definita come ERP (dall'inglese Emergency Route Planning, ossia Pianificazione di un Percorso di Emergenza) in questo ambito. L'attuazione di una corretta strategia di evacuazione deve risolvere due questioni tra di loro correlate: l'indirizzamento della folla e una regolazione del flusso. (Khalid & Yusof, 2018)

La folla può arrivare a contare centinaia di persone, se non migliaia. Queste agiscono secondo i loro obiettivi, tra cui evitare degli ostacoli o rimanere vicino alle persone congiunte, siano esse amici o familiari. L'insieme degli obiettivi e degli attributi fisici e sociali della folla viene chiamata "coesione di gruppo". La folla esamina l'ambiente circostante e sceglie il percorso più breve, sia in termini di spazio, sia in termini di tempo, per raggiungere i suoi obiettivi, quindi anche l'ambiente circostante diventa cruciale. Gli attributi importanti a tal scopo sono la configurazione della zona, i fattori di rischio, e le possibili scelte di uscita. (Khalid & Yusof, 2018)

1.4. ASPETTI CRUCIALI DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE

Si procede quindi con la disamina degli aspetti critici del distanziamento sociale secondo quanto precedentemente accennato, ricordando che si esaminano tutti e soli gli aspetti correlati ad una modellazione efficace in sede di simulazione. Questi si possono suddividere in aspetti psicologici ed aspetti fisici (Ronchi, Scozzari, & Fronterre, A risk analysis methodology for the use of crowd models during the Covid-19, 2020).

1.4.1. ASPETTI PSICOLOGICI DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE

La dinamica e i comportamenti delle grandi folle e degli individui che le compongono sono stati da sempre studiati secondo la teoria dell'identità sociale, che distingue tra "folle fisiche" e "folle psicologiche". Le prime si intendono come insiemi di persone che semplicemente occupano lo stesso spazio nello stesso intervallo di tempo. Le seconde, invece, sono concepite come insiemi di persone che condividono un'identità sociale. Tale distinzione è molto importante perché influisce sulla maniera con cui le persone, in uno scenario pandemico, mantengono il distanziamento interpersonale/sociale che viene prescritto.

Le folle si muovono in un determinato spazio, secondo delle regole non scritte, ed evolvono nel tempo in base agli stimoli visivi dei membri. Come viene controllato lo spazio circostante da ciascuna persona e come viene articolata la risposta a tali stimoli dipende dal contesto sociale in cui questa si trova ad esistere. In uno scenario di pandemia tale contesto sociale può essere anche molto diverso da quello abituale.

Per quanto riguarda il distanziamento sociale, si può fare riferimento a vari studi condotti dagli anni '50/'60 su come le persone gestiscono il proprio spazio interpersonale, i quali affermano come le persone siano meno restie ad ammettere all'interno dello stesso altre persone ritenute molto affidabili. Ciò porta delle implicazioni rispetto a come le persone si possano comportare nei confronti di addetti dello staff o del personale di emergenza. Si è inoltre appurato che lo spazio personale di ciascun individuo ha la tendenza a rimanere costante nello stesso contesto sociale. In tempo di pandemia, ricordando cosa è stato detto in precedenza a riguardo del contesto sociale, lo spazio personale può assumere altri significati, può per esempio essere inteso come una bolla di separazione che può portare a vedere gli altri come degli intrusi e delle minacce. Queste considerazioni, però, non valgono per le folle psicologiche, che non si muovono come degli individui e i cui membri cercano di mantenere una certa vicinanza gli uni con gli altri. Ciò introduce una certa variabilità di cui bisogna tenere conto per una corretta modellazione della simulazione.

L'imposizione di un distanziamento sociale interferisce, inoltre, con la spontanea formazione delle folle e del senso di identità. L'ipotesi iniziale che indicava la formazione di un assembramento come uno scenario minaccioso è stata infatti smentita dagli studi più recenti, che mostrano come le folle tendano a formarsi e a mantenersi all'interno di contesti dove vi è una forte identificazione sociale. Questo significa che le persone possono essere attratte dalle folle e dirigersi verso quelle zone o quei locali dove si formano, per approdare anche a situazioni in cui è gradevole trovarsi in contesti molto affollati, mentre manca del tutto l'elemento di avversione.

Una situazione di pandemia pone, accanto a questi aspetti, degli interrogativi a cui la letteratura scientifica non è ancora in grado di dare risposta, in quanto non vi sono dati sufficienti a riguardo. Il primo riguarda l'insorgenza di due esigenze in contrasto tra di loro, nella dinamica delle folle, e quale

tra questi possa prevalere. Un esempio può essere uno scenario di evacuazione all'interno di un contesto di pandemia: possono entrare in contrasto tra di loro la necessità di raggiungere il luogo sicuro prefissato e la necessità di mantenere un corretto distanziamento dalle altre persone. In senso più generale, i gestori dei locali e gli organizzatori degli eventi devono riuscire a coniugare la formazione di un ambiente gradevolmente affollato con la garanzia di un adeguato livello di sicurezza sanitaria.

In particolare, sono state adottate varie strategie per far adottare alla popolazione un comportamento coerente al mantenimento del distanziamento, come campagne di persuasione e misure coercitive. Si è riscontrato come, a riguardo, sia più utile insistere su messaggi che indichino l'appartenenza a una folla psicologica, che viene quindi costruita sulla base del comune senso di minaccia. La scelta di mantenere o no tale distanziamento dipende anche dal comportamento del gruppo. A tale riguardo, è noto come un piccolo sottogruppo all'interno della folla, la contraddittorietà delle varie informazioni, uno stato di conflittualità con l'autorità e l'influenza sociale possano influenzare il processo decisionale globale. In particolare, i gruppi tendono a prendere le decisioni di concerto con la maggioranza, mostrando come emerga tacitamente una guida all'interno della folla, come le persone tendano a scambiarsi le informazioni le une con le altre e come cerchino di uniformarsi ad una regola. Ciò significa che anche per quanto riguarda il mantenimento del distanziamento sociale prescritto le persone saranno influenzate dai comportamenti delle altre. Ciò significa che un metodo praticabile per far sì che le persone seguano tale misura precauzionale sia quello di introdurre, all'interno della folla, un gruppo di persone sufficientemente numeroso che segua il comportamento prescritto, affinché le altre seguano quella che viene comunicata come regola in maniera tacita.

1.4.2. CALCOLO DELLA DISTANZA FISICA E UTILIZZO DELLO SPAZIO

I provvedimenti di distanziamento sociale sono differenti a seconda che siano assegnati per una folla statica o in movimento, e sono anche soggetti ad un certo grado di arbitrarietà quando si tratta di implementarli all'interno di una simulazione di folle. Ciò dipende principalmente da tre fattori:

- i vari modelli possono adottare differenti modi di rappresentare le persone per quanto riguarda forma, dimensioni e modo di raggrupparsi. Si ricorda, però, che tutti i modelli funzionano come ambienti bidimensionali collegati tra loro con degli enti verticali, come scale o ascensori. Le rappresentazioni tridimensionali correlate hanno uno scopo meramente consultivo e nessuna applicazione pratica a livello di calcolo;
- le distanze possono essere calcolate prendendo come riferimento diversi punti. La stessa distanza può essere interpretata in modo diverso a seconda del punto di riferimento scelto, che può essere il centro geometrico delle persone, il punto più esterno, il naso, il braccio, eccetera...
- il distanziamento sociale, generalmente, viene interpretato come per le folle in movimento, e ha delle ripercussioni innanzitutto sul numero massimo di persone ammesse all'interno di un'area chiusa, ma anche su altri parametri, come la densità massima di persone all'interno dell'area considerata.

Durante il movimento delle persone viene data una grande attenzione all'evitamento delle collisioni con le altre persone. Questo processo viene modellizzato secondo degli schemi che non tengono

conto di uno scenario pandemico. Se, però, le condizioni differiscono da quelle usuali, le persone possono decidere i loro movimenti su distanze maggiori o minori per mantenere le giuste distanze dagli altri individui, con conseguenze che coinvolgono azioni come il mettersi in coda per accedere ad altre zone o servizi. Mancano però dati provenienti dall'osservazione della vita reale, rendendo così difficile modificare i modelli secondo queste conclusioni.

La presenza di gruppi potrebbe influenzare l'utilizzo dello spazio disponibile, in quanto i gruppi prestabiliti non osservano il distanziamento sociale e così introducono un grado di variabilità.

1.4.3. IMPATTO DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE SULLA SCELTA DEL PERCORSO

Il processo di scelta del percorso, che viene gestito dal simulatore, non è stato progettato per far fronte ad uno scenario pandemico. Generalmente i criteri di scelta sono quattro:

1. distanza più breve: l'algoritmo calcola il percorso più breve percorribile a piedi dall'agente;
2. tempo più breve: l'algoritmo viene modificato rispetto al caso precedente, inserendo la distanza all'interno di un processo di ottimizzazione che tiene conto di altri fattori come il congestionamento di un dato percorso o l'attesa in coda;
3. definito dall'utente: è l'utente che definisce quale percorso debba essere compiuto dagli agenti
4. condizionale: il percorso viene eseguito sotto determinate condizioni o finché non insorgono altre condizioni che impediscono lo svolgimento pianificato.

Si può osservare che in nessuna di queste modalità la prossimità ad altre persone viene usata come deterrente per la scelta di alcuni percorsi e/o come incentivo che porta a sceglierne altri. Per adattare i modelli allo scenario attuale, bisogna ripensare le ipotesi alla base del processo decisionale, come per esempio la disponibilità delle persone della simulazione ad aspettare in fila o cambiare il percorso, scegliendo una fila meno congestionata. Ciò può essere fatto a livello individuale, con però un carico di lavoro molto gravoso quando le simulazioni constano di diverse migliaia di individui.

Bisogna inoltre tenere da conto l'incertezza, a livello generale, che accompagna ciascuno di questi metodi. Questa situazione suggerisce quindi la scelta di un approccio stocastico o probabilistico, in cui viene simulata una moltitudine di comportamenti.

1.4.4. IMPATTO DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE SUI MOVIMENTI

Il distanziamento sociale impone delle modifiche nei movimenti delle folle, dove gli individui cercano di mantenere le distanze gli uni con gli altri e dai gruppi organizzati. In uno scenario ordinario, le folle tendono a seguire degli schemi di movimento che sono auto-regolamentati, come percorsi a senso unico, priorità di passaggio dove due flussi differenti si intersecano o risoluzione dei colli di bottiglia. Sono però assenti, come per gli aspetti precedentemente esaminati, dati riguardanti uno scenario pandemico: ciò porta, analogamente a prima, alla necessità di rivedere le ipotesi con cui il programma organizza da sé le regole.

Si può partire dal fatto che la densità massima di persone in una determinata zona è funzione del distanziamento sociale:

$$d_{max} = d_{max}(P_d)$$

Generalmente, negli ambienti simulativi, la densità massima scelta è pari a 3,8 persone per metro quadro di superficie (pp/m²), in condizioni ordinarie. È quindi deducibile che la densità massima, in condizioni di distanziamento sociale imposto, sarà inferiore a tale valore:

$$d_{max} \leq 3,8 \frac{pp}{m^2}$$

Allo stesso modo, la densità minima a cui corrisponde una decrescita della velocità dalle condizioni di non disturbo è generalmente compresa all'interno del seguente intervallo:

$$0 \leq d_{min} \leq 0,54 \frac{pp}{m^2}$$

La velocità di ogni singolo utente sarà quindi definita dalla seguente funzione a tratti:

$$v = v_{max} \text{ se } 0 \leq d \leq d_{min}$$
$$v = \left(\frac{d - d_{max}}{d_{min} - d_{max}} \right) v_{max} \text{ se } d \geq d_{min}$$

1.5. DETERMINAZIONE DEL RISCHIO

Introdotti il problema d'interesse e lo strumento che verrà utilizzato per la sua risoluzione, è necessario ora stabilire un modello con cui analizzare i risultati generati da Pathfinder.

Le decisioni di carattere sanitario vengono generalmente prese utilizzando dei modelli epidemiologici macroscopici, che generalmente si basano sul modello a tre variabili "Suscettibili, Contagiosi, Curati/Morti" o SIR (dall'inglese Susceptible, Infectious, Recovered/Removed. È evidente che le persone vengono "rimosse" da questo modello di calcolo in quanto guariscono dalla malattia o decedono per la stessa). Questo modello è nato nel 1920, utilizza un insieme di equazioni differenziali e spesso include anche una quarta variabile, gli "esposti" (exposed), trasformando il modello in SEIR.

Questi metodi sono utili per gli spazi aperti o comunque molto estesi e portano molti vantaggi per chi deve prendere delle decisioni a livello di sicurezza sanitaria, ma hanno lo svantaggio di perdere tutte le informazioni legate ai movimenti dei singoli individui che compongono le grandi folle e alle interazioni tra gli stessi. Un aiuto viene dai modelli microscopici, come quello continuo e quello discreto, che forniscono le traiettorie di ciascuna persona in un ambiente chiuso. In uno scenario pandemico ciò permette di valutare il rispetto del distanziamento sociale e l'eventuale numero di interazioni, intese come violazione, accidentale o meno, del distanziamento stesso. Il limite di questi modelli è dato dal fatto che le modalità di contagio da SARS-CoV-2 non sono ancora completamente note e ci si basa sulle conoscenze derivate dall'esperienza della SARS del 2002: si suppone, quindi, che il contagio possa avvenire tramite contatto fisico, goccioline e vie aeree. Ciò implica che la caratteristica più importante di un modello sia la flessibilità, in modo da poter essere adattato per qualsiasi scenario infettivologico presente o futuro.

Il primo passo è effettuare delle ipotesi più o meno stringenti sulle modalità di contagio (Ronchi & Lovreglio, EXPOSED: An occupant exposure model for confined spaces to retrofit crowd models during a pandemic, 2020, p. 6-7), consultabili in Figura 1 (in lingua inglese):

1. esposizione per contatto fisico: si registra un contagio quando le persone sono in una situazione di contatto fisico o contatto con oggetti che potrebbero essere contaminati. Le persone vengono assimilate a dei corpi rigidi non deformabili, e i calcoli vengono effettuati in ambiente bidimensionale, mentre la rappresentazione tridimensionale ha uno scopo meramente consultivo. Il contatto viene registrato quando si verifica una sovrapposizione di coordinate tra due agenti o quando coincidono con l'ubicazione supposta dell'oggetto;
2. esposizione considerando un distanziamento sociale: ad ogni persona viene associato un raggio pari al distanziamento sociale prescritto. Si registra un contagio ogniqualvolta un'altra persona si trovi all'interno di tale raggio;
3. esposizione da contatto frontale all'interno del raggio di distanziamento: questo modello è molto simile al precedente, ma nel caso in cui viene violato il distanziamento sociale si procede a verificare l'allineamento tra i volti delle due persone. Si istituisce un sistema di coordinate polari avente come origine l'agente i considerato, in cui ρ_{ij} è la distanza dall'agente j e varia da zero al distanziamento sociale imposto, mentre α_{ij} è l'azimut. Si introduce successivamente anche l'angolo β_{ij} , che viene usato per controllare se gli agenti sono faccia a faccia (valore assegnato 0) o se si danno le spalle a vicenda (valore assegnato π). In questo caso l'utente deve fare delle ipotesi legate anche al parametro β ;

4. esposizione causata dall'essere nella stessa stanza: vengono registrati dei contagi ogniqualvolta più persone si trovino all'interno della stessa stanza. È ovviamente richiesto avere i dati sull'andamento dell'affollamento della stanza nel tempo;
5. Esposizione causata dall'essere nello stesso edificio: vengono registrati dei contagi ogniqualvolta più persone si trovino all'interno dello stesso edificio. È il modello più semplice, che però richiede delle considerazioni aggiuntive dipendenti dalle modalità di trasmissione della malattia. Per esempio, nel caso attuale di un virus che si diffonde attraverso le vie respiratorie, sarebbe opportuno integrare la trattazione con delle considerazioni riguardanti l'impianto di trattamento e distribuzione dell'aria (HVAC).

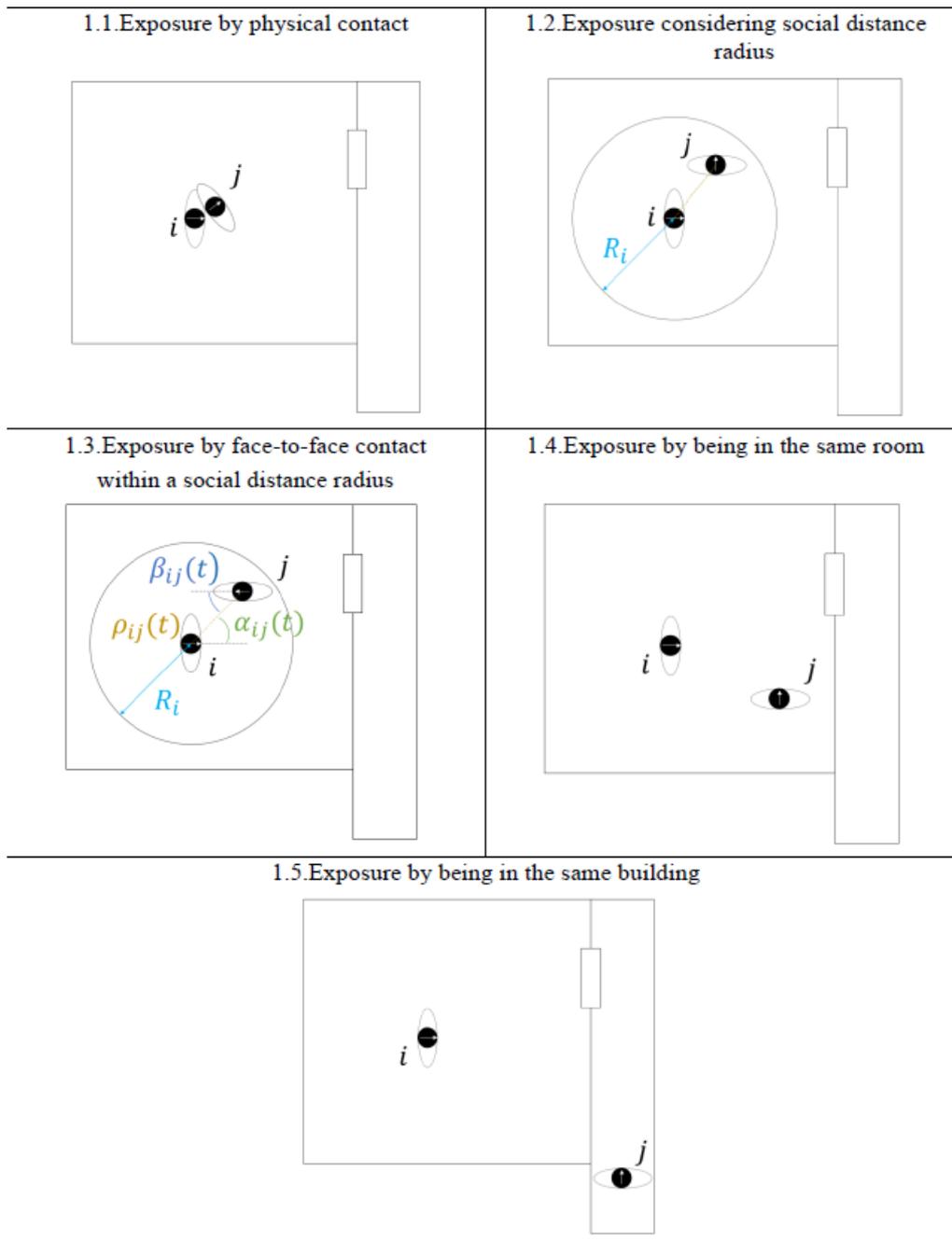


Figura 1: immagine illustrante le varie ipotesi riguardanti l'esposizione al rischio di contagio (Ronchi & Lovreglio, EXPOSED: An occupant exposure model for confined spaces to retrofit crowd models during a pandemic, 2020)

1.5.1. UN ESEMPIO DI MODELLO DI VALUTAZIONE: EXPOSED

Un modello di studio dell'esposizione al rischio di contagio sviluppato è il modello EXPOSED (Ronchi & Lovreglio, EXPOSED: An occupant exposure model for confined spaces to retrofit crowd models during a pandemic, 2020, p. 7-9). In questo modello viene esaminata la situazione di ciascuna persona presa singolarmente, osservando con quante altre persone si trova a interagire all'interno della simulazione, dall'inizio alla fine, istante per istante. Si suppone che gli intervalli di tempo tra un istante e quello successivo siano regolari, ossia:

$$t_{i+1} - t_i = \Delta t = \text{costante}$$

Queste informazioni possono essere riassunte efficacemente da un vettore nella forma:

$$E_i = \{e_{t_0}, e_{t_1}, \dots, e_{t_n}, \dots, e_{t_f}\}$$

Dove E_i rappresenta l'agente i -esimo, mentre e_{t_n} rappresenta il numero di agenti con cui tale agente i -esimo è entrato in contatto istante per istante. È possibile estendere tale trattazione al numero totale di agenti all'interno della simulazione, ottenendo una matrice strutturata in questa maniera:

$$E_t^i = \begin{pmatrix} E^1 \\ \vdots \\ E^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{t_0}^1 & \dots & e_{t_f}^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{t_0}^n & \dots & e_{t_f}^n \end{pmatrix}$$

Tale matrice è quindi assemblata per righe: ad ogni riga corrispondono le informazioni per un determinato utente.

Da questa matrice è possibile estrapolare il tempo cumulativo di esposizione di un agente ad un determinato numero di altri agenti contando il numero di istanti temporali in cui è riscontrata l'interazione con il suddetto numero di altri agenti.

Ripetendo tale procedura per ciascun utente viene ottenuta una distribuzione temporale T_k , con k indicante il numero scelto di utenti a cui ciascun utente è esposto. Essendo una distribuzione, T_k viene definito attraverso la sua media μ_k e la sua deviazione standard σ_k :

$$T_k = T_k(\mu_k, \sigma_k)$$

La somma dei vari T_k sul numero di utenti permette di determinare l'esposizione cumulata C_k .

$$C_k = \sum_{i=1}^n T_k^i$$

Tra questi valori, è di grande interesse il valore C_0 , che rappresenta per quanto tempo cumulativamente una persona non è esposta a nessun'altra. Calcolate le esposizioni, è possibile ottenere l'esposizione globale G effettuando una sommatoria su k , per i cui valori più alti è possibile anche utilizzare dei coefficienti di maggiorazione del rischio γ_k .

$$G = \sum_{k=1}^m \gamma_k C_k$$

1.6. METODOLOGIA DI DETERMINAZIONE DEL RISCHIO

Una volta acquisite tutte le informazioni riguardanti le caratteristiche che differenziano la determinazione del rischio in uno scenario pandemico rispetto a uno normale, si può elaborare un metodo di determinazione del rischio. Un esempio è quello riportato nel diagramma di flusso sottostante, in lingua inglese (Ronchi & Lovreglio, EXPOSED: An occupant exposure model for confined spaces to retrofit crowd models during a pandemic, 2020), del quale si segnala la natura iterativa: sarà infatti ripetuto finché non si raggiunge un livello di sicurezza adeguato.

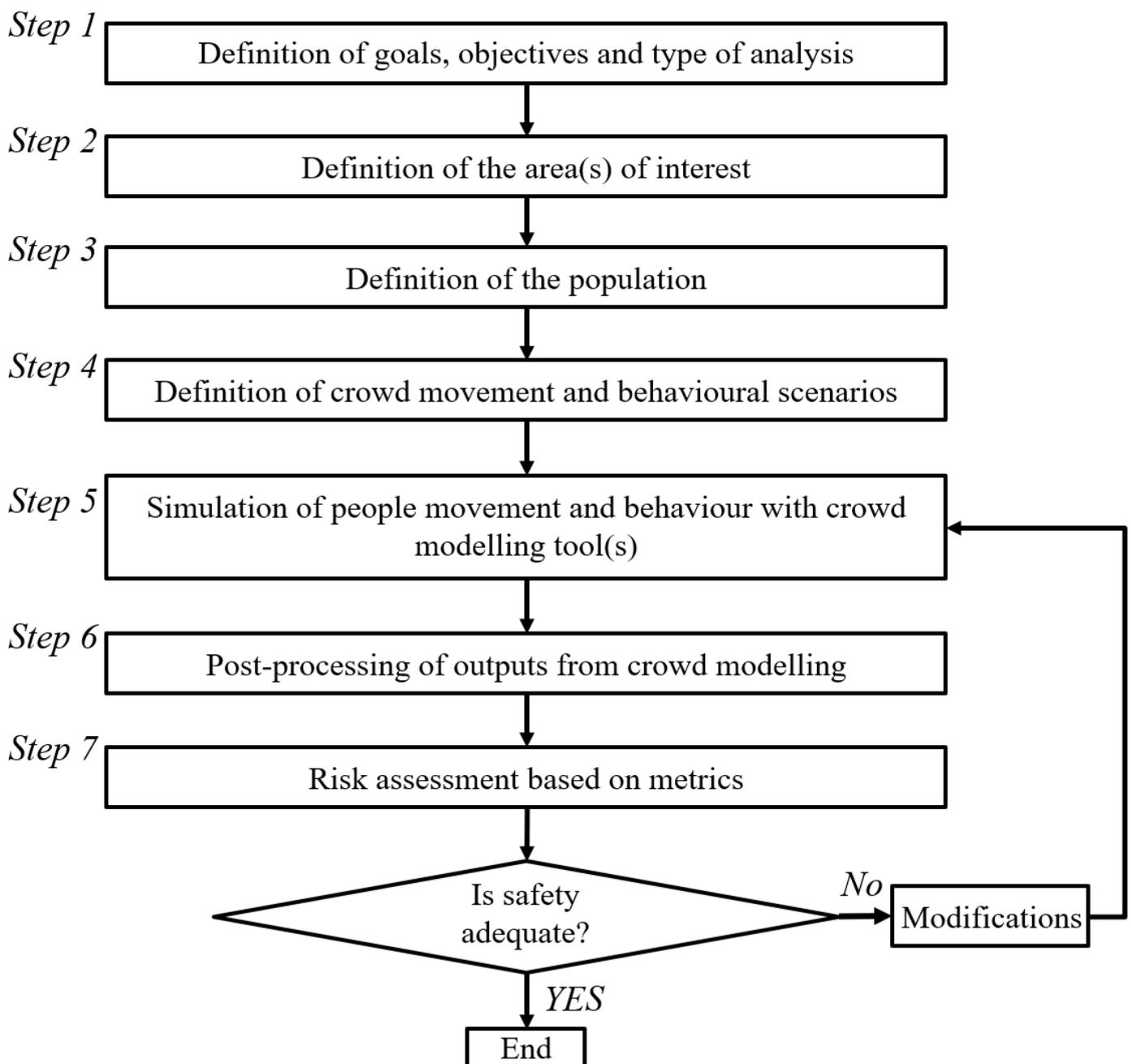


Figura 2: diagramma di flusso illustrante l’algoritmo di determinazione del rischio, dalla modellazione del caso fino alla processazione dei risultati (Ronchi & Lovreglio, EXPOSED: An occupant exposure model for confined spaces to retrofit crowd models during a pandemic, 2020)

- **Fase 1: definizione del tipo di analisi e dell'obiettivo della stessa**

Innanzitutto, bisogna definire quali siano gli obiettivi dell'analisi, in modo da identificare il metodo con cui verranno forniti i risultati, gli scenari da analizzare, il tipo di analisi e i meccanismi di trasmissione del virus;

- **Fase 2: definizione del dominio oggetto di studio**

A questo punto viene richiesto di specificare quale sia la zona oggetto di studio: questa può essere sia generata all'interno dell'ambiente di simulazione, sia importata da un programma esterno. Bisogna inoltre fare delle considerazioni su quale sia l'effettivo dominio del problema: ritornando all'esempio precedente di un virus che si diffonde per via aerea, dovranno essere prese in esame anche le componenti degli impianti di comfort ambientale;

- **Fase 3: definizione della popolazione**

In questa fase si definiscono le caratteristiche fisiche (come le dimensioni e la velocità di movimento) e comportamentali della popolazione necessarie sia per la simulazione all'interno del modello, sia per la determinazione del rischio di trasmissione dell'agente patogeno. Rientra in questa fase anche l'identificazione dello spazio come chiuso o aperto: in uno spazio chiuso il numero di occupanti è fisso e predeterminato, mentre invece in uno spazio aperto diventa necessario determinare quali siano i flussi in entrata ed in uscita. Allo stesso modo è importante stabilire se vi sono gruppi di persone all'interno della simulazione, perché ciò influenza il mantenimento delle distanze a livello globale;

- **Fase 4: definizione dei movimenti**

In questa fase bisogna tenere conto di tutti gli aspetti che possono interferire con il libero movimento delle persone a causa della prescrizione del distanziamento sociale. La modellazione riguarda la correlazione tra velocità e densità, le meccaniche di attesa in coda, presenza dei gruppi, massima densità raggiungibile, accorgimenti particolari come l'istituzione di sensi unici alternati. Conseguentemente, tutti i fattori fisici e psicologici esaminati nel corso della dissertazione dovranno essere implementati nel modello o, qualora non fosse possibile, ci si dovrà mantenere entro dei margini conservativi;

- **Fase 5: simulazione dei movimenti e dei comportamenti definiti**

In questa fase interviene la strumentazione di simulazione (ossia, nel caso ivi trattato, Pathfinder), in modo da trarre dalla stessa dei risultati utili, la cui natura dipende dagli obiettivi dell'analisi e dal metodo della stessa;

- **Fase 6: post-processazione dei risultati**

In questa fase i risultati ottenuti dalla simulazione vengono rielaborati per ottenere le misure necessarie ad effettuare l'analisi prefissata.

- **Fase 7: determinazione del rischio**

In questa fase, le misure vengono utilizzate per effettuare l'analisi del rischio secondo il criterio scelto precedentemente.

Si segnala, in termini generali, che questo processo può essere utilizzato anche per confrontare tra di loro vari scenari allo scopo di trovare una configurazione di ottimo paretiano per quanto concerne la sicurezza sanitaria. La componente iterativa è data dalla ripetizione delle fasi dalla 5 alla 7 finché non si trova una configurazione che porta i risultati desiderati in quanto a sicurezza sanitaria.

1.7. INTRODUZIONE A PATHFINDER

Giunti a questo punto, verrà illustrato il funzionamento di Pathfinder.

Pathfinder è il programma che è stato scelto per la simulazione del comportamento delle folle, secondo quanto spiegato nel paragrafo precedente. Normalmente viene utilizzato per fare delle simulazioni in 3D di evacuazione dagli edifici. I suoi punti di forza sono:

- importare le geometrie degli spazi oggetto di interesse da varie sorgenti, come per esempio AUTOCAD (quindi è possibile interfacciarsi direttamente con le planimetrie disegnate in fase di progettazione);
- simulare il comportamento tramite una combinazione di vari parametri, che possono cambiare dinamicamente e a cui è associata una risposta dinamica dei vari enti all'interno della simulazione;
- possibilità di inserire vari profili di comportamento, modificando i parametri sopra menzionati o la loro incidenza;
- possibilità di definire delle sequenze di azioni, come muoversi verso una precisa locazione, attendere per un certo intervallo di tempo, prediligere l'utilizzo di alcune infrastrutture a discapito di altre (per esempio, scale o ascensori);
- possibilità di definire gruppi di persone all'interno delle folle, in modo da studiare le dinamiche dei sottogruppi;
- possibilità di ottenere vari risultati, molto dettagliati e di scegliere anche la modalità di visualizzazione durante la rappresentazione della simulazione, per avere riscontri immediati;
- possibilità di introdurre la variabile distanziamento sociale, implementata dagli sviluppatori in seguito allo scenario pandemico che imperversa;
- possibilità di introdurre una "fonte di occupanti" che simula un flusso di persone in ingresso, modellabile a seconda delle volontà dell'utente.

Questo elenco mostra come Pathfinder possa essere utilizzato per la nuova funzione di studio di soluzioni di sicurezza sanitaria, previo uso di opportuni accorgimenti.

Si procede, quindi, a illustrare operativamente le caratteristiche del programma che sono state utilizzate a questo scopo. Innanzitutto, all'interno della definizione del profilo degli occupanti, sono di interesse le due grandezze "distanza interpersonale" (personal distance) e "distanziamento sociale" (social distancing). Queste due grandezze mostrano una differenza profonda tra loro in termini concettuali, originata dal fatto che le persone, nell'ambiente di simulazione, sono modellizzate come dei cilindri:

- la distanza interpersonale è una distanza misurata tra i punti delle superfici cilindriche;
- il distanziamento sociale è misurato, invece, tra gli assi dei cilindri.

È quindi evidente come la variabile "distanza interpersonale" garantisca un criterio più stretto rispetto alla variabile "distanziamento sociale". D'altro canto, la variabile "distanziamento sociale" permette di creare delle simulazioni più realistiche, in quanto permette non solo di adottare un valore unico per tutti gli occupanti, ma anche una distribuzione di valori. Ciò può rappresentare meglio il comportamento diverso delle varie persone di fronte alla stessa situazione: chi è più sprezzante del pericolo potrebbe osservare un distanziamento inferiore, mentre chi è più timoroso del contagio potrebbe mantenere una distanza maggiore dalle persone estranee.

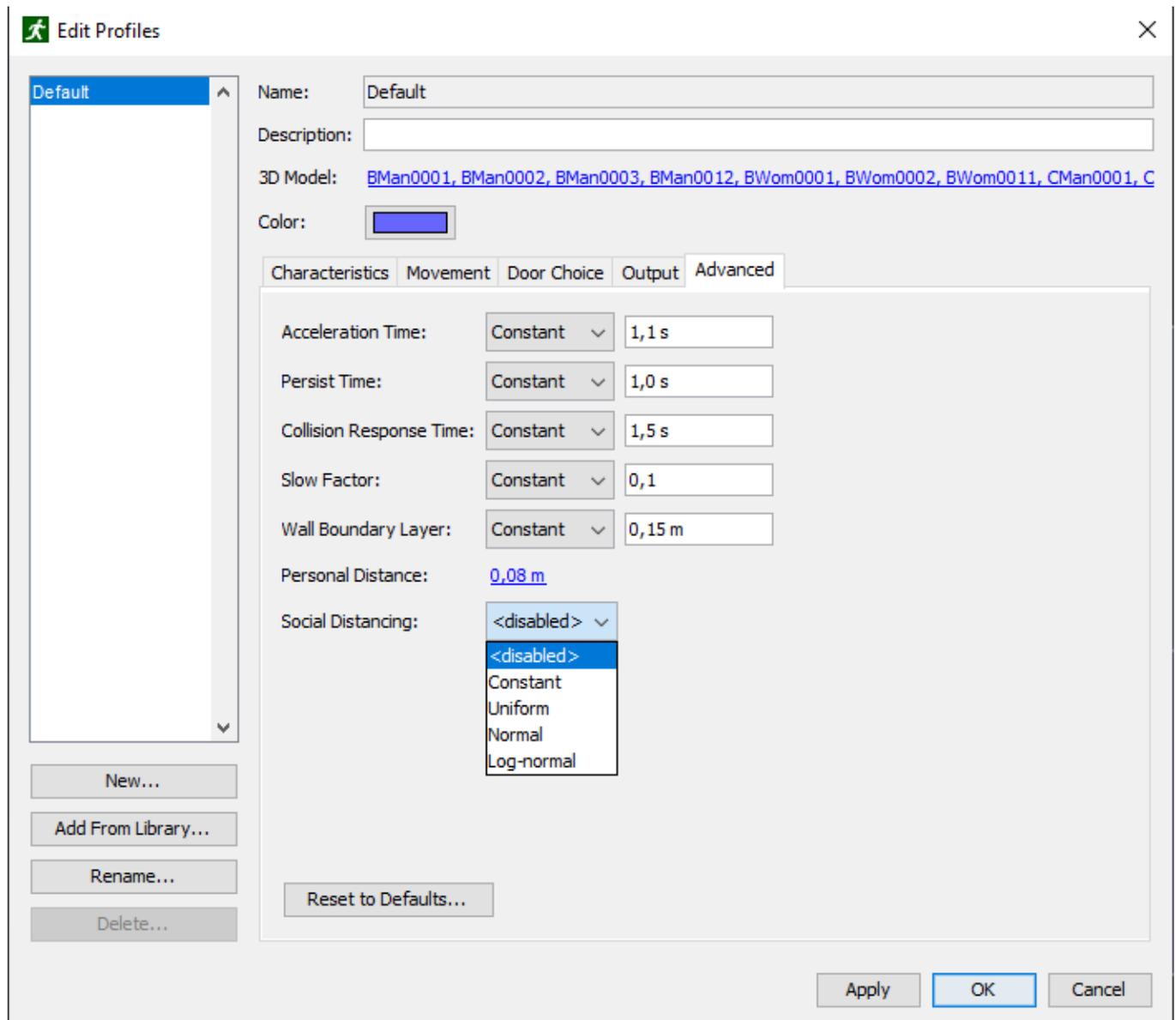


Figura 3: illustrazione dei profili di movimento, mostrando le possibili opzioni di distanziamento

Si osservano, oltre al valore costante, le distribuzioni uniforme, normale e logaritmica.

Inoltre, la sezione del profilo permette di impostare la generazione di file .csv come risultato della simulazione effettuata. Uno di questi file generati sarà poi analizzato in modo da individuare le criticità legate alla struttura in esame e quindi poter studiare delle soluzioni per migliorare la sicurezza sanitaria.

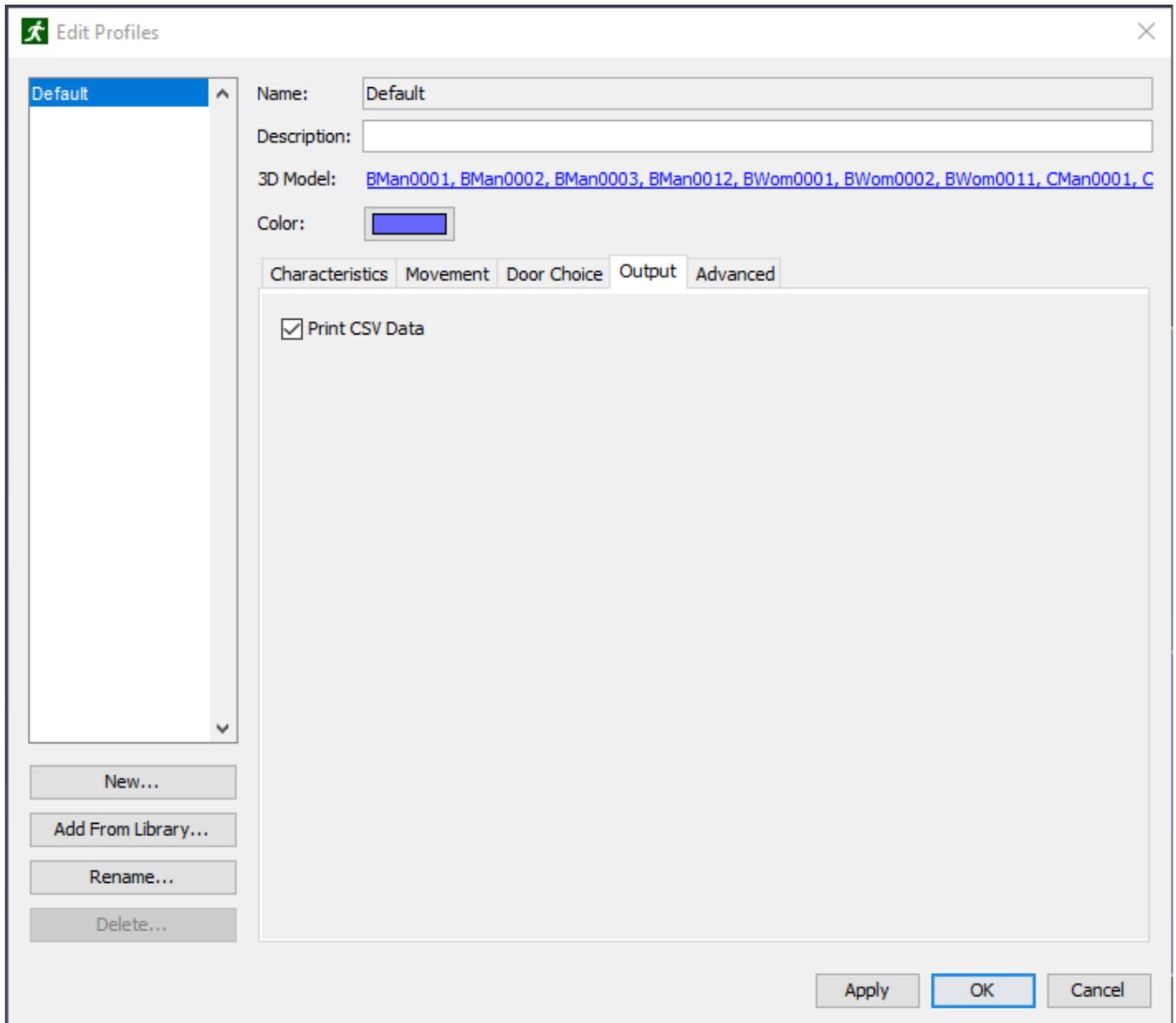


Figura 4: opzioni di creazione di file .csv per l'analisi dei risultati

Successivamente vi sono i comportamenti che le persone possono adottare nella simulazione. È possibile modellizzare più di un comportamento nella stessa simulazione, in modo da fornire dei gradi di libertà aggiuntivi. Ciascun modello comportamentale può essere inteso come somma di azioni semplici:

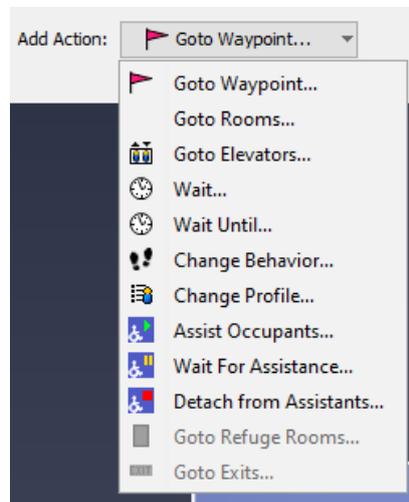


Figura 5: elenco delle possibili azioni aggiungibili

Un esempio di modello comportamentale molto semplice viene mostrato nelle prossime impressioni da schermo:

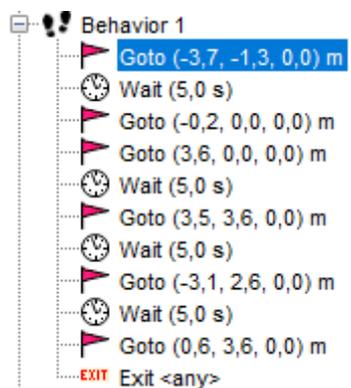


Figura 6: elenco di azioni che possono formare un modello comportamentale

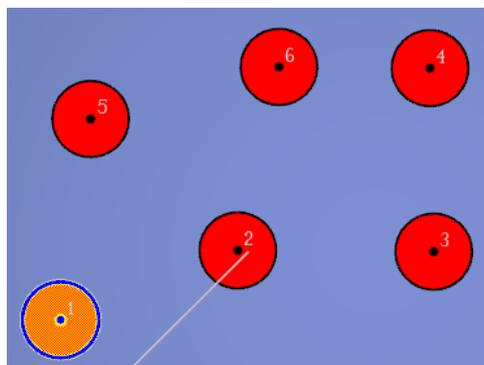


Figura 7: illustrazione nello spazio dei vari punti di passaggio indicati dal comportamento in figura

Altre caratteristiche di interesse sono la creazione di occupanti, intesa come semplice generazione casuale di persone all'interno dell'ambiente di simulazione o come inserimento di una zona da cui gli occupanti entrano nella simulazione stessa, e la creazione di gruppi di movimento. Un gruppo, in Pathfinder, è un insieme di persone che si comportano come un unico individuo, e può essere creato selezionando direttamente gli enti all'interno della simulazione.



Figura 8: illustrazione delle varie possibilità riguardanti gli occupanti

Quando si crea un insieme di occupanti o una sorgente di occupanti (occupant source), si può definire la distribuzione di comportamenti tramite un'apposita funzione:

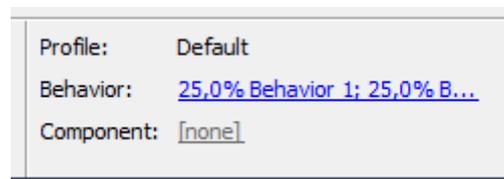


Figura 9: il profilo è caratterizzato da una distribuzione probabilistica di comportamenti

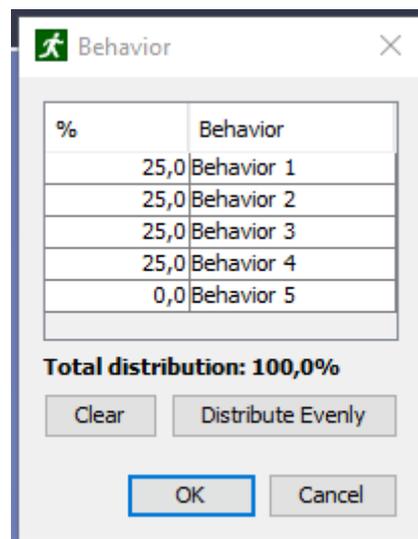


Figura 10: una possibile distribuzione probabilistica dei comportamenti

I risultati della simulazione includono i file .csv menzionati in precedenza e un'interfaccia video, che permette di osservare l'andamento della simulazione istante per istante.

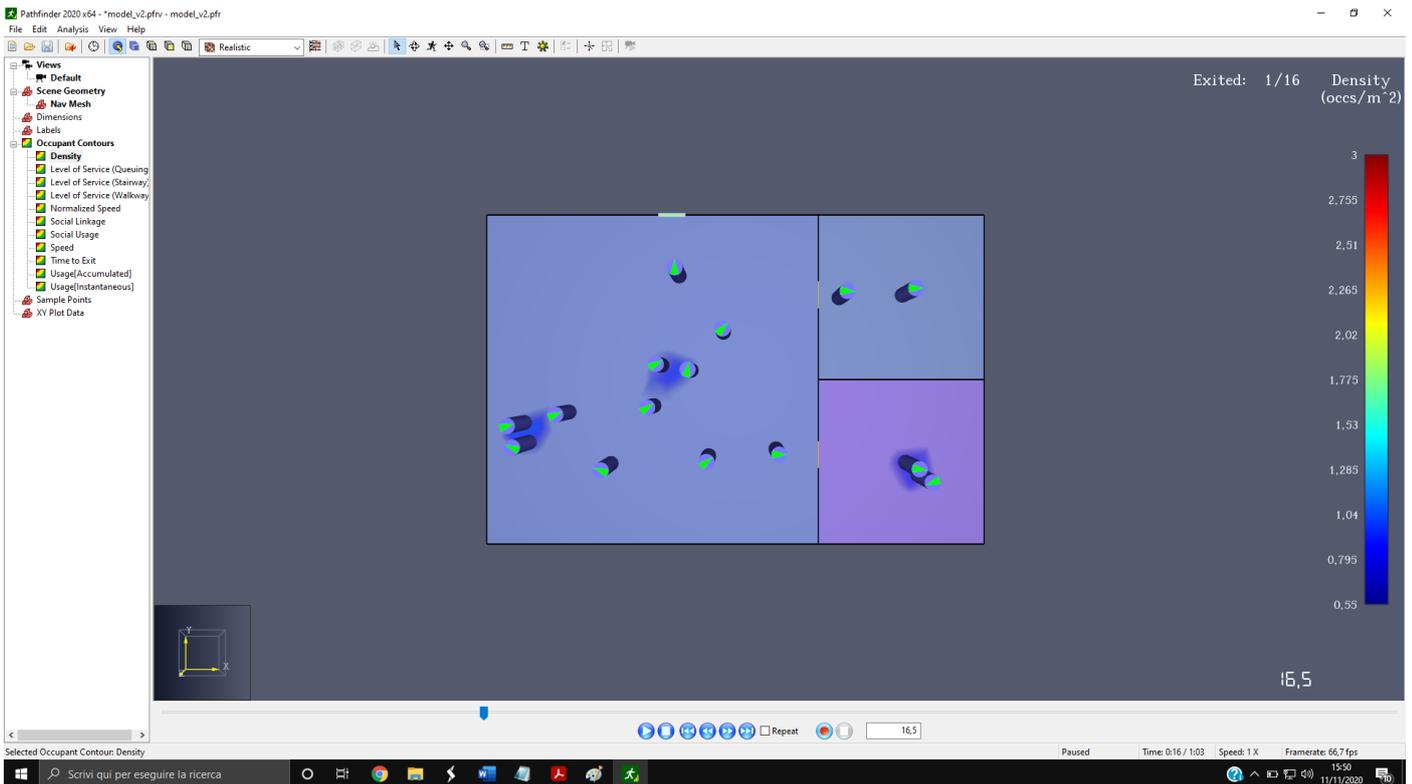


Figura 11: esempio di interfaccia video dei risultati delle simulazioni (Fonte: Programma Pathfinder)

Si osserva che possono essere scelti degli indicatori colorati per studiare meglio la situazione in tempo reale. Per esempio, nella foto in questione è stata selezionata la densità di occupanti per metro quadro di superficie. Esistono però anche altri indicatori.

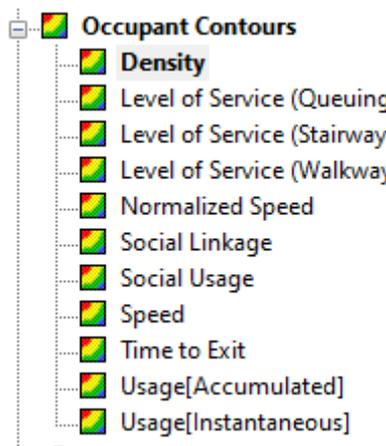


Figura 12: vari indicatori che possono essere scelti per la visualizzazione dei risultati

La simulazione produce un file .csv denominato “nomesimulazione_occupants_detailed.csv” (“nomesimulazione” corrisponde al nome scelto per la simulazione in questione, il resto nome vuol dire “dettagli sugli occupanti”) che verrà poi analizzato in ambiente MATLAB (del quale viene dato per noto il funzionamento) al fine di ricavare, secondo un modello da definire, le criticità nel mantenimento del distanziamento sociale al fine di adottare i migliori provvedimenti a riguardo.

Un esempio di file generato dal programma è mostrato nell'impressione sottostante:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	t	id	name	active	x	y	z	v	distance	location	terrain typ	last_goal	started
2	s				m	m	m	m/s	m				
3	0.5	0	OccSource	1	3.311509	-3.21888	0	0.027045	0.000676	Room00	level	0	
4	1	0	OccSource	1	3.226317	-3.08878	0	0.567955	0.156188	Room00	level	0	
5	1.5	1	OccSource	1	2.314181	-3.74308	0	0.027045	0.000676	Room00	level	0	
6	2	0	OccSource	1	2.691488	-2.24613	0	0.923563	1.155132	Room00	level	0	
7	2	1	OccSource	1	2.169856	-3.68517	0	0.567955	0.156188	Room00	level	0	
8	2.5	2	OccSource	1	-0.02771	-4.04542	0	0.027045	0.000676	Room00	level	0	
9	3	0	OccSource	1	3.214516	-2.01482	0	1.164399	1.887368	Room00	level	0	
10	3	1	OccSource	1	1.224213	-3.3057	0	1.19	1.175125	Room00	level	0	
11	3	2	OccSource	1	0.03342	-3.90242	0	0.569402	0.156224	Room00	level	0	
12	3.5	3	OccSource	1	3.025358	-2.74894	0	0.027045	0.000676	Room00	level	0	
13	4	0	OccSource	1	4.402282	-2.08725	0	1.19	3.077368	Room00	level	0	
14	4	1	OccSource	1	0.330595	-2.61329	0	1.19	2.319288	Room00	level	0	
15	4	2	OccSource	1	-0.07221	-3.40916	0	0.647168	0.799651	Room00	level	0	
16	4	3	OccSource	1	2.938217	-2.62014	0	0.567955	0.156188	Room00	level	0	
17	4.5	4	OccSource	1	-2.97384	-4.22565	0	0.027045	0.000676	Room00	level	0	
18	5	0	OccSource	1	5.542846	-2.25126	0	1.19	4.233208	Room01	level	0	
19	5	1	OccSource	1	-0.77324	-2.198	0	1.19	3.506048	Room00	level	0	
20	5	2	OccSource	1	0.130794	-2.88428	0	1.054822	1.384444	Room00	level	0	
21	5	3	OccSource	1	2.84947	-2.12498	0	0.648168	0.794138	Room00	level	0	
22	5	4	OccSource	1	-2.89317	-4.0927	0	0.567955	0.156188	Room00	level	0	
23	5.5	5	OccSource	1	2.458354	-2.80562	0	0.027045	0.000676	Room00	level	0	
24	6	0	OccSource	0	6.695406	-2.39592	0	1.081818	5.39481	Room01	level	0	
25	6	1	OccSource	1	-1.91443	-1.86066	0	1.19	4.696048	Room00	level	0	
26	6	2	OccSource	1	0.649298	-1.82069	0	1.19	2.567687	Room00	level	0	
27	6	3	OccSource	1	3.912056	-2.12326	0	1.19	1.856796	Room00	level	0	
28	6	4	OccSource	1	-2.36457	-3.22159	0	1.19	1.175125	Room00	level	0	
29	6	5	OccSource	1	2.307098	-2.76949	0	0.567955	0.156188	Room00	level	0	
30	6.5	6	OccSource	1	-2.5069	-3.19308	0	0.027045	0.000676	Room00	level	0	
31	7	0	OccSource	0	7.586325	-2.50774	0	0.216364	6.292719	Room01	level	0	
32	7	1	OccSource	0	-3.05561	-1.52332	0	1.19	5.886048	Room00	level	0	
33	7	2	OccSource	1	1.170763	-0.75103	0	1.19	3.757687	Room00	level	0	
34	7	3	OccSource	1	5.063659	-2.18179	0	1.147552	3.014093	Room01	level	0	
35	7	4	OccSource	1	-1.7478	-2.20517	0	1.19	2.364049	Room00	level	0	
36	7	5	OccSource	1	1.316046	-2.53274	0	1.19	1.175125	Room00	level	0	
37	7	6	OccSource	1	-2.59852	-3.05512	0	0.608002	0.166966	Room00	level	0	
38	7.5	7	OccSource	1	0.165873	-3.70456	0	0.027045	0.000676	Room00	level	0	

Figura 13: esempio di file .csv utile per la simulazione

Nel file sono contenute informazioni su:

- l'istante a cui tale informazione afferisce;
- l'identificativo della persona a cui l'informazione afferisce;
- la posizione, espressa mediante le coordinate cartesiane x, y e z;
- l'ubicazione, indicando il nome della stanza in cui, in quel determinato istante, la persona in esame si trova.

Queste informazioni saranno poi cruciali per il prosieguo della soluzione del problema, previa definizione di un modello adeguato.

Dopo aver fatto una panoramica sull'interfaccia di Pathfinder, è doveroso approfondire gli aspetti tecnici che stanno dietro il funzionamento. Si riportano quindi le indicazioni della guida tecnica del software (Thunderhead Engineering, 2017).

Innanzitutto, in Pathfinder ogni agente della simulazione ha un comportamento, che viene assegnato tramite un'interfaccia simile a quella vista in precedenza. Come visto nella trattazione più generale, il comportamento è funzionale al raggiungimento di uno scopo. A tale riguardo, Pathfinder offre due tipi di scopi (Thunderhead Engineering, 2017, p. 14-21): lo *scopo attivo* (*seek goals*) e lo *scopo inattivo* (*idle goals*). Il primo è uno scopo che spinge l'agente a muoversi verso una destinazione e perciò cerca una destinazione sulla griglia computazionale, mentre invece il secondo è quello in cui un occupante deve aspettare in una determinata posizione che qualcosa avvenga, come per esempio l'arrivo di un ascensore. L'attesa avviene diversamente a seconda della modalità specifica attivata, che può essere la modalità SFPE, dove vengono implementati i concetti e le normative antincendio elaborate da tale ente statunitense, o la modalità guidata, che serve a far riprodurre dei comportamenti più complessi per mezzo di algoritmi di movimento. Se l'attesa avviene in modalità SFPE, l'agente resta fermo finché non avviene l'evento indicato; se l'attesa, invece, avviene in modalità guidata, l'agente si manterrà ad una distanza determinata dagli altri mediante il comando di *separazione*. In questa modalità, inoltre, l'agente cercherà di mantenersi nei pressi della zona indicata dall'obiettivo precedente.

A questo punto è possibile vedere gli scopi più nel dettaglio. Alcuni di questi hanno un'azione corrispondente, mentre invece altri possono essere creati come sotto-casi di un'azione particolare:

- assistenza agli occupanti, in cui l'agente può fare squadra con un gruppo di emergenza e assistere gli altri occupanti;
- sgancio dagli assistenti, in cui l'agente si separa dal personale di assistenza che lo sta soccorrendo;
- riempi la stanza, in cui l'agente cerca un luogo nella stanza che sia lontano da tutte le porte;
- andare verso l'ascensore, che viene ottenuto come combinazione di uno scopo attivo di raggiungimento di una stanza e di uno scopo inattivo. Infatti, quando viene creato un ascensore viene creata una "stanza virtuale" che rappresenta la posizione dell'ascensore ad ogni piano; lo scopo di raggiungimento di una stanza indica come obiettivo una o più stanze virtuali così generate, che vengono scelte in base all'obiettivo precedente. Se l'obiettivo precedente e la stanza virtuale giacciono sullo stesso piano, allora viene scelta questa stanza, altrimenti si fa una prova su tutti i piani finché non viene trovato un percorso utile. Una volta che l'agente entra dentro una stanza virtuale, passa allo scopo inattivo e aspetta l'arrivo dell'ascensore, per poi passare, come ubicazione, alla stanza virtuale indicata dall'ascensore;
- andare verso l'uscita, che definisce quindi una porta o un insieme di porte che vengono raggiunte dall'occupante. L'obiettivo viene raggiunto quando l'agente varca l'uscita, e in quel momento viene rimosso dalla simulazione;
- andare verso una stanza, che viene definita come bersaglio dell'obiettivo e viene considerato come conseguito quando l'occupante varca la porta d'ingresso della stanza;
- andare verso un punto, che viene indicato come bersaglio dell'obiettivo. L'occupante tenta di muoversi verso quel punto e raggiunge la posizione a meno di un raggio di tolleranza che viene specificato dall'utente;
- attendi, che fa entrare l'utente in uno stato inattivo finché non passa il tempo indicato;

- attendi per gli aiuti, che mette l'occupante in attesa finché tutte le posizioni ad esso correlate non sono occupate dal personale preposto;

Nella modalità guidata, quando gli agenti devono andare in una stanza ed aspettare, cercheranno di riempire la stanza e far sì che le persone entrino nella stessa. Per fare ciò, l'agente deve:

1. ottenere una mappa della distanza dalla porta, ossia una mappa che indichi quanto è lontana la porta da una stanza. La distanza viene calcolata tramite una rete triangolare, e si basa sulle porte che sono effettivamente raggiungibili dall'utente;
2. determinare una direzione ideale lungo cui muovere l'occupante il più lontano possibile dalle porte. Viene creata una direzione di prova ogni 30°, e lungo ogni direzione viene effettuata prima la prova di calcolo della distanza allo scopo di individuare la massima possibile, successivamente viene controllato se si rischia la collisione con altri occupanti e, se sì, a quale distanza. La direzione ideale viene scelta valutando sia la distanza massima dalle porte, sia la distanza minima dagli altri occupanti;
3. decidere se muoversi in questa direzione in maniera effettiva o rimanere dove si trova.

Per quanto riguarda i percorsi che l'agente fa per raggiungere una destinazione o un obiettivo, è necessario un piano che permetta di seguire un determinato percorso mentre si tengono in considerazione ostacoli di varia natura. Questo processo viene chiamato *pianificazione del percorso* (*path planning*): assegnata una destinazione, ci possono essere varie possibilità per raggiungerla. Ogni percorso avrà una sua lunghezza, un numero di persone incontrabili o anche pericoli di varia natura; l'obiettivo è scegliere tra questi percorsi il migliore. Un approccio istintivo ma ingenuo sarebbe la scelta del percorso più breve: questi, infatti potrebbe rivelarsi non essere il percorso migliore.

Per risolvere questo problema, Pathfinder utilizza l'opzione "localmente più veloce" (*locally quickest*), che classifica i percorsi possibili secondo una gerarchia utilizzando le informazioni relative alla stanza in cui si trova l'agente e le informazioni globali sull'edificio. L'ipotesi alla base è che l'agente sappia quante porte vi siano all'interno della stanza, come funzionino le code per varcare tali porte e quanto ciascuna delle stesse sia lontana dalla destinazione obiettivo. L'opzione in esame sceglie quindi la porta che comporta un "costo" minore e viene generato un percorso che conduce a tale porta. Più nel dettaglio, l'utente segue questa scaletta:

1. viene generata una lista di *bersagli locali* (*local targets*), tra cui le porte che conducono l'utente al suo scopo designato. Se il traguardo è nella stessa stanza, viene aggiunto alla lista di obiettivi locali;
2. viene scelto il bersaglio locale in base alla conoscenza locale e globale del modello e delle preferenze degli occupanti. Come detto in precedenza, la scelta viene determinata calcolando un "costo" per ciascun bersaglio locale e viene scelto quello col costo minore. Questo viene determinato secondo delle informazioni del modello, come:
 - a. tempo di attraversamento della stanza, ossia il tempo che sarebbe necessario all'occupante per raggiungere il bersaglio, ignorando gli altri occupanti;
 - b. tempo di attesa, che si applica se il bersaglio scelto è una porta e stima quanto l'agente deve aspettare in coda. Se il bersaglio non è una porta, il tempo di attesa è automaticamente fissato come pari a zero;

- c. tempo totale di movimento, che corrisponde al tempo necessario per passare dal bersaglio all'obiettivo prestabilito, ignorando gli altri agenti. Se il bersaglio coincide con l'obiettivo prestabilito, allora il tempo è pari a zero;
- d. distanza percorsa nella stanza, ossia quanto l'agente ha percorso dall'ingresso in stanza;

In aggiunta, ogni personaggio della simulazione ha delle preferenze, che possono essere modellate nell'interfaccia relativa al singolo agente:

- e. fattore di costo legato al tempo di attraversamento della stanza;
 - f. fattore di costo legato al tempo di attesa;
 - g. fattore di costo legato al tempo totale di movimento;
 - h. fattore di costo legato alla distanza percorsa nella stanza;
3. l'agente si muove verso il bersaglio locale generando e seguendo un percorso, successivamente ripete queste operazioni finché lo scopo principale non è stato raggiunto.

Si deve notare il fatto che gli occupanti hanno informazioni soltanto sulla stanza in cui si trovano al momento, e tali informazioni vengono modificate ogniqualvolta in cui entrano in una nuova stanza. Questo potrebbe portare gli occupanti a muoversi avanti e indietro ripetutamente tra due stanze per intervalli di tempo anche prolungati. Per ovviare a tale eventualità, una volta che l'occupante esce dalla stanza usando una particolare porta, deve rimanere coerente a tale scelta e seguire le seguenti regole:

1. la prossima porta che viene scelta dall'agente non può riportarlo in una stanza in cui è già stato;
2. se la regola sopradetta rende impraticabili tutte le opzioni, allora l'occupante può scegliere qualsiasi porta.

Una volta che è stato scelto il bersaglio, è necessario elaborare il percorso effettivo per raggiungere il bersaglio. Pathfinder inserisce una serie di punti intermedi e crea un percorso che fa compiere cambi di direzione all'agente solo in corrispondenza di ostacoli. Successivamente vengono rimossi tutti i punti intermedi dove non c'è un cambio di direzione. Gli occupanti, quindi, eseguiranno questo percorso:

1. si tiene traccia di due punti intermedi, che sono quello corrente, ossia quello che definisce una deviazione del percorso, e quello che verrà raggiunto successivamente;
2. l'occupante si accerta che il prossimo punto intermedio debba diventare quello corrente;
3. l'occupante si accerta che il percorso sia rettilineo o se deve essere modificato;
4. viene generata una curva obiettivo, che può essere una linea spezzata o una linea quadratica definita con la posizione attuale, il punto intermedio corrente e un punto di controllo intermedio;
5. l'occupante si muove lungo la tangente a questa curva.

2. ESECUZIONE DEL CODICE

2.1. INTRODUZIONE AL CONCETTO DI SICUREZZA

Identificato il contesto nel quale ci si trova ad operare e noti gli aspetti salienti per una buona simulazione di una situazione mai affrontata con strumenti informatici, è possibile illustrare quali sono le soluzioni che possono essere adottate allo scopo di studiare l'efficacia delle misure volte a garantire un determinato livello di sicurezza sanitaria.

È noto che in qualsiasi branca del mondo della sicurezza, sia negli investimenti, sia contro gli infortuni sul lavoro, sia antincendio, sia antisismica, sia sulla tenuta di un componente meccanico all'interno di un sistema, una situazione di rischio zero sia irraggiungibile. Vi è sempre una fonte di rischio, seppur minima; diventa quindi valida la Legge di Murphy, che afferma che:

"Se qualcosa può andare storto, allora lo farà"

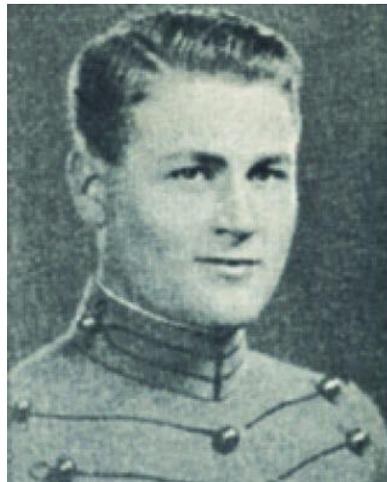


Figura 14: Edward Aloysius Murphy, ingegnere dello United States Army Air Corps (l'aeronautica militare statunitense), che ha coniato la nota, umoristica e vera affermazione (Edward A. Murphy Jr., 2018)

La sicurezza consiste, allora, nella mitigazione del rischio, ossia nell'applicazione di tutte le misure necessarie volte ad ottenere, preferibilmente in maniera simultanea, i seguenti due effetti:

1. riduzione della probabilità di accadimento dell'evento negativo considerato;
2. mitigazione del danno in caso di accadimento, in quanto la probabilità non potrà mai essere annullata, in forza di quanto espresso precedentemente.

Ovviamente non è sempre possibile ottenere entrambi gli effetti:

- se non è possibile ridurre la probabilità di accadimento oltre una certa soglia, allora dovranno essere prese tutte le misure necessarie a mitigare i danni derivanti quanto più possibile;
- se non è possibile mitigare i danni derivanti dall'accadimento di un particolare evento, allora dovranno essere presi tutti i provvedimenti necessari a rendere quanto più improbabile lo stesso.

Tali considerazioni possono essere riassunte in maniera visiva tramite un grafico molto particolare, definito "curva di valutazione del rischio":

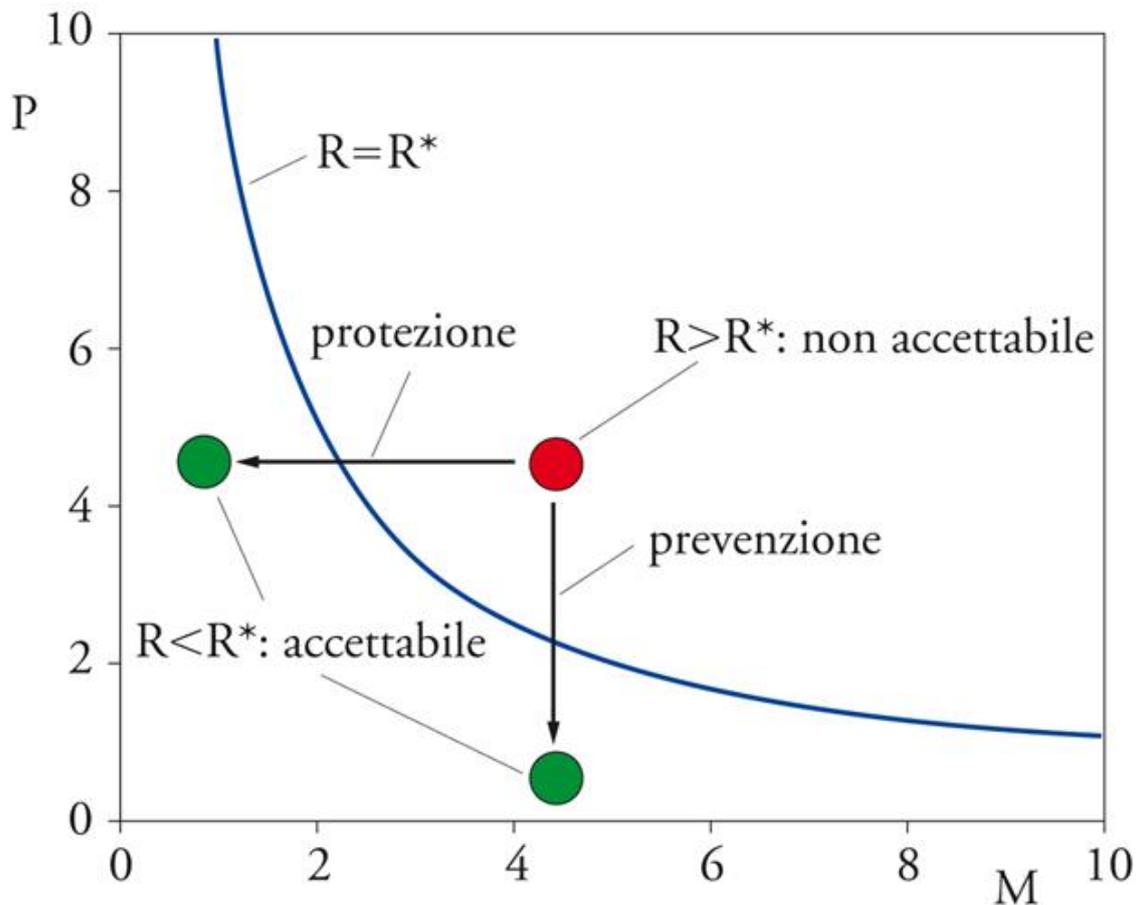


Figura 15: curva di valutazione del rischio (Rota, 2008)

In ascissa è riportata la magnitudo (M), ossia l'entità del danno cagionato dal verificarsi della circostanza negativa.

In ordinata, invece, è riportata la probabilità (P) di accadimento dell'evento stesso.

Si può osservare come la curva sia un'iperbole, la cui caratteristica particolare è l'aver gli assi cartesiani come asintoti. Ciò si mantiene coerente con le premesse iniziali:

1. la probabilità di accadimento nulla non esiste;
2. il danno causato dall'accadimento dell'evento può essere mitigato ma non annullato.

Si assume quindi una determinata soglia di rischio, chiamata R^* , e si disegna l'iperbole corrispondente secondo l'equazione:

$$p * q = R^*$$

Successivamente, si considerano i vari eventi (in termini di probabilità e danno cagionato in caso di accadimento) e si verifica come si collocano rispetto alla curva prima menzionata:

- l'evento contrassegnato in verde identificato dalle coordinate (1, 4) (all'incirca) è accettabile in quanto, sebbene discretamente probabile, cagiona un danno ridotto;

- l'evento contrassegnato in verde identificato dalle coordinate (4, 0.5) è accettabile in quanto, sebbene cagioni un danno ragguardevole, è poco probabile;
- l'evento contrassegnato in rosso identificato dalle coordinate (4, 4) non è accettabile in quanto sia la probabilità di accadimento sia il danno che sarebbe in caso cagionato sono troppo elevati. Si dovranno quindi prendere delle adeguate misure per riportarlo secondo la curva, o riducendo il danno cagionato, o riducendo la probabilità di accadimento, o tutte e due (caso ideale).

Tale trattazione molto formale può essere riassunta attraverso dei prontuari di uso più immediato. Ricongiungendosi all'aviazione statunitense, considerando stavolta il ramo civile rappresentato dalla Federal Aviation Administration (FAA), esiste una matrice che indica in modo chiaro ed immediato i possibili livelli di rischio:

Severity \ Likelihood	Minimal 5	Minor 4	Major 3	Hazardous 2	Catastrophic 1
Frequent A	[Green]	[Yellow]	[Red]	[Red]	[Red]
Probable B	[Green]	[Yellow]	[Red]	[Red]	[Red]
Remote C	[Green]	[Yellow]	[Yellow]	[Red]	[Red]
Extremely Remote D	[Green]	[Green]	[Yellow]	[Yellow]	[Red]
Extremely Improbable E	[Green]	[Green]	[Green]	[Yellow]	[Red] *

High Risk [Red]
Medium Risk [Yellow]
Low Risk [Green]

* High Risk with Single Cause Failures

Figura 16: matrice di valutazione del rischio della FAA (in inglese) per i trasporti commerciali (Federal Aviation Administration, 2017)

Tale matrice permette di determinare in maniera immediata quale sia il livello di rischio, identificando dei livelli di probabilità (da A a E: frequente, probabile, remoto, estremamente remoto, del tutto improbabile) e dei livelli di intensità del danno cagionato (da 5 ad 1: minimo, minore, maggiore/importante, pericoloso, catastrofico):

- zona verde, a basso rischio;
- zona gialla, a rischio moderato;
- zona rossa, a rischio elevato.

Si osserva come:

- un danno cagionato minimo rientrerà sempre in zona verde;
- un danno cagionato catastrofico rientrerà quasi sempre in zona rossa: l'unica eccezione è che sia estremamente improbabile e non imputabile ad una singola avaria in volo (l'ente, infatti, è anche preposto all'accreditamento dei velivoli);
- all'aumentare della probabilità di accadimento, un singolo evento passa molto facilmente ad una zona di rischio più elevata, e viceversa.

Per poter fare questo tipo di analisi è necessario stabilire tre cose:

1. quale sia l'evento problematico;
2. quale sia la probabilità con cui l'evento accada;
3. quale sia il rischio legato all'accadimento dell'evento stesso.

2.2. IL RISCHIO DI CONTAGIO E L'ANALISI DI PROSSIMITÀ

Fatta questa premessa, è possibile parlare di sicurezza sanitaria.

In questo scenario, coerentemente con i punti prima esposti, si può affermare che:

1. l'evento d'interesse è il contagio di una persona, che si ritrova positiva all'agente patogeno;
2. per quanto concerne la probabilità di contagio, questa aumenta man mano che la persona si ritrova ad interagire significativamente con altre persone. Si utilizza la parola "interazione" per indicare tutte le occasioni in cui due persone si trovino ad una distanza inferiore al distanziamento sociale imposto dalla normativa o desiderato. Più una persona *interagisce* con altre persone, più è probabile il contagio. Non deve essere trascurato il tempo di durata dell'interazione stessa, come sarà esposto in seguito;
3. il danno può essere quantificato su più livelli:
 - a. obbligo di quarantena, incidendo sulla vita delle persone stesse. Inoltre, benché la stragrande maggioranza delle persone superi la malattia senza particolari problemi, può essere necessaria l'ospedalizzazione;
 - b. conseguentemente, il rischio successivo è quello di una grande pressione sulle strutture sanitarie;
 - c. nei casi peggiori, il rischio è il decesso.

Non essendo possibile mitigare i danni in alcun modo (l'andamento è fondamentalmente aleatorio), diventa imperativo ridurre le probabilità di contagio.

L'analisi di prossimità è volta a studiare le interazioni tra un individuo e quelli circostanti, e queste motivazioni la rendono uno strumento molto prezioso per la valutazione delle soluzioni atte a garantire un livello accettabile di sicurezza sanitaria.

Per poter svolgere tale operazione, bisogna definire quali sono le modalità:

- si utilizza l'ipotesi numero 2 (§ pag. 15), ossia il modello di esposizione considerando un distanziamento sociale prestabilito;
- vengono esaminati degli spazi chiusi;
- si è deciso che i risultati saranno così articolati:
 - un file Excel nel quale saranno riportati, foglio per foglio:
 - la matrice E, illustrata precedentemente (§ pag. 17);
 - media e deviazione standard delle varie distribuzioni temporali T_k (§ pag. 17);
 - una matrice che indica quale sia il massimo tempo di interazione consecutivo tra le coppie. Dato che il tempo di esposizione è un parametro non trascurabile, viene valutato quale sia il tempo massimo di interazione continua tra due agenti (per esempio, se gli agenti 1 e 2 interagiscono prima per 20 secondi, e poi per altri 40, viene indicato un tempo di esposizione di 40 secondi);
 - una matrice che indica tutti e soli i massimi tempi di interazione continua che superano una soglia prestabilita. Il tracciamento dei contatti tiene traccia di tutte le interazioni che durano più di una certa soglia temporale indicata come critica per la trasmissione del virus;

- una matrice che indica i tempi di esposizione minimo e massimo di ogni agente verso altri agenti all'interno della simulazione;
- una matrice che indica quanto ciascun agente sia esposto ad altri agenti;
- una matrice che indica quanto ciascun agente sia esposto ad altri agenti, all'interno delle sole interazioni di durata superiore alla soglia critica precedentemente discussa;
- una matrice che indica in maniera cumulativa quanto tempo ciascun utente sia esposto ad altri utenti;
- una matrice che indica in maniera cumulativa quanto tempo ciascun utente sia esposto ad altri utenti, tenendo conto delle sole interazioni di durata superiore alla soglia critica;
- dei grafici che riportino:
 - le distribuzioni temporali T_k ;
 - la percentuale indicante quanti enti registrino una durata di esposizione massima superiore alla soglia critica;
 - la percentuale indicante quanti enti registrino una durata di esposizione minima inferiore alla soglia critica;
 - una scansione delle interazioni di ciascun agente secondo classi di appartenenza, in modo da capire quale percentuale di agenti registri un dato numero di interazioni;
 - una scansione delle interazioni di ciascun agente secondo classi di appartenenza, in modo da capire quale percentuale di agenti registri un dato numero di interazioni critiche;
 - una scansione dei tempi cumulativi di interazione di ciascun agente secondo classi di appartenenza, in modo da capire quale percentuale di agenti registri interazioni di un tale tempo cumulato;
 - una scansione dei tempi cumulativi di interazione di ciascun agente secondo classi di appartenenza, in modo da capire quale percentuale di agenti registri interazioni critiche di un tale tempo cumulato;

Per dare la possibilità, inoltre, di svolgere uno studio ancora più approfondito delle soluzioni adottate e del livello di sicurezza sanitaria conseguente, si è deciso di rendere possibile l'inserimento manuale dei parametri di distanziamento sociale e di soglia temporale critica. Si è così espletata la fase 1 indicata dall'algoritmo (§ paragrafo METODOLOGIA DI DETERMINAZIONE DEL RISCHIO) e si procede con le fasi successive.

A questo punto bisogna determinare la geometria di studio. Come indicato nell'illustrazione dell'algoritmo, la geometria spesso è importabile direttamente dai programmi che vengono utilizzati in sede progettuale.

La definizione della popolazione, dei movimenti che essa può compiere e la simulazione finale secondo i parametri impostati vengono fatte all'interno del software. Ai fini di questa trattazione, tali fasi vengono svolte con l'ausilio del software Pathfinder e secondo le modalità che sono state precedentemente esposte (§ paragrafo INTRODUZIONE A PATHFINDER).

Si arriva quindi alle fasi finali del processo, ossia le fasi 6 e 7.

2.3. ESECUZIONE DELLA FASE 6

Tale fase non viene eseguita in Pathfinder. Il programma, infatti, non fornisce strumenti atti a compiere un'analisi di prossimità che restituisca i risultati stabiliti nella fase 1. Per poter superare questo problema, è stato scritto un software in linguaggio MATLAB che possa ricevere in ingresso le informazioni che vengono ottenute mediante Pathfinder durante l'esecuzione della simulazione e restituire, come risultato, i file Excel e le immagini che sono state indicate nella parte precedente.

Bisogna quindi esaminare quali sono le informazioni che Pathfinder fornisce come risultati in uscita. Guardando una qualsiasi simulazione svolta, si osservano i seguenti file:

Nome	Ultima modifica	Tipo	Dimensione
caso 1.octrmesh	03/12/2020 11:23	File OCTRMESH	123 KB
caso 1.pfd	03/12/2020 11:23	File PFD	2.272 KB
caso 1.pfg	03/12/2020 11:23	File PFG	91 KB
caso 1.pfr	03/12/2020 11:23	Pathfinder Results...	1 KB
caso 1.pfrv	03/12/2020 10:24	Pathfinder Results...	6 KB
caso 1.pt~	03/12/2020 11:34	File PT~	1.500 KB
caso 1.pth	03/12/2020 11:23	Pathfinder File	1.500 KB
caso 1.snapshot	03/12/2020 11:23	File SNAPSHOT	845 KB
caso 1.txt	03/12/2020 11:23	Documento di testo	6 KB
caso 1_doors.csv	03/12/2020 11:23	File con valori sep...	501 KB
caso 1_groups.csv	03/12/2020 11:23	File con valori sep...	1 KB
caso 1_occupant_params.csv	03/12/2020 11:23	File con valori sep...	2 KB
caso 1_occupants.csv	03/12/2020 11:23	File con valori sep...	1 KB
caso 1_occupants_detailed.csv	03/12/2020 11:23	File con valori sep...	647 KB
caso 1_performance.txt	03/12/2020 11:23	Documento di testo	2 KB
caso 1_rooms.csv	03/12/2020 11:23	File con valori sep...	77 KB
caso 1_summary.json	03/12/2020 11:23	File JSON	4 KB
caso 1_summary.txt	03/12/2020 11:23	Documento di testo	3 KB
caso 1_views.json	03/12/2020 11:23	File JSON	1 KB

Figura 17: elenco dei file creati da Pathfinder

La simulazione in esame si chiama “caso 1”, e si osservano in particolare i seguenti file:

- caso 1.pth, ossia il file contenente la costruzione della simulazione (geometria, definizione della popolazione, delle sue caratteristiche e dei suoi movimenti);
- caso 1.pfrv, ossia il file contenente i risultati video della simulazione, con la possibilità di studiare vari fattori tramite degli indicatori visivi (§ pag. 24);
- caso 1_groups.csv, ossia un file che indica quanti gruppi vi siano e quali siano i componenti;
- caso 1_occupant_params.csv, ossia il file che contiene tutte le caratteristiche individuali della popolazione;
- caso 1_occupants.csv, ossia un file che indica per quanto tempo sono presenti gli occupanti all'interno della simulazione;

- caso 1_occupants_detailed.csv, ossia un file che indica, istante per istante, informazioni relative all'identificativo e alla posizione assoluta degli agenti e alla stanza in cui sono ubicati;
- caso 1_rooms, ossia un file che indica quali sono le stanze in cui è divisa la geometria oggetto della simulazione.

2.3.1. ESTRAZIONE DEI DATI DAL FILE IN INGRESSO

Il file in ingresso che viene preso dal programma è il file indicato dal suffisso "nome-della-simulazione_occupants_detailed.csv", in quanto è il file che contiene tutte le informazioni necessarie all'esecuzione dell'analisi. La peculiarità di questo tipo di file è che possono essere scritti in forma estremamente compatta, separando i vari valori con delle virgole. Si riporta di seguito come appare un tipico file preso in esame, con l'accorgimento (visivo) di tabulare i valori separati dalle virgole allo scopo di aumentare la leggibilità:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	t	id	name	active	x	y	z	v	distance	location	terrain typ	last_goal	started
2	s				m	m	m	m/s	m				
3	0.5	0	OccSource	1	-2.41103	21.23488	0	0.023796	0.000595	Floor 0,0 r	level		0
4	0.5	1	OccSource	1	-2.40744	18.96136	0	0.015726	0.000393	Floor 0,0 r	level		0
5	0.5	2	OccSource	0	109.2138	1.881121	0	0	0	Floor 0,0 r	level		0
6	1	0	OccSource	1	-2.27423	21.23233	0	0.499725	0.137424	Floor 0,0 r	level		0
7	1	1	OccSource	1	-2.3184	18.97714	0	0.330246	0.090818	Floor 0,0 r	level		0
8	1	2	OccSource	0	109.2138	1.881121	0	0	0	Floor 0,0 r	level		0
9	1	3	OccSource	1	170.2515	0.449179	0	0.023244	0.000581	Floor 0,0 r	level		0
10	1	4	OccSource	1	173.607	0.44919	0	0.024156	0.000604	Floor 0,0 r	level		0
11	1.5	5	OccSource	0	-2.41036	20.47802	0	0	0	Floor 0,0 r	level		0
12	1.5	6	OccSource	0	-2.40685	18.38194	0	0	0	Floor 0,0 r	level		0
13	1.5	7	OccSource	0	108.5639	1.881121	0	0	0	Floor 0,0 r	level		0
14	2	0	OccSource	1	-1.37785	21.21565	0	1.047043	1.033955	Floor 0,0 r	level		0
15	2	1	OccSource	1	-1.76197	19.08523	0	0.691945	0.658108	Floor 0,0 r	level		0
16	2	2	OccSource	0	109.2138	1.881121	0	0	0	Floor 0,0 r	level		0
17	2	3	OccSource	1	170.2269	0.94832	0	0.953008	0.500329	Floor 0,0 r	level		0
18	2	4	OccSource	1	173.5031	0.958036	0	0.990382	0.519951	Floor 0,0 r	level		0
19	2	5	OccSource	0	-2.41036	20.47802	0	0	0	Floor 0,0 r	level		0
20	2	6	OccSource	0	-2.40685	18.38194	0	0	0	Floor 0,0 r	level		0
21	2	7	OccSource	0	108.5639	1.881121	0	0	0	Floor 0,0 r	level		0
22	2.5	8	OccSource	1	-2.411	21.10901	0	0.016884	0.000422	Floor 0,0 r	level		0
23	2.5	9	OccSource	1	-2.40761	19.12836	0	0.019952	0.000499	Floor 0,0 r	level		0
24	3	0	OccSource	1	-0.33099	21.19618	0	1.047043	2.080999	Floor 0,0 r	level		0
25	3	1	OccSource	1	-1.08055	19.20544	0	0.691945	1.350052	Floor 0,0 r	level		0
26	3	2	OccSource	0	109.2138	1.881121	0	0	0	Floor 0,0 r	level		0
27	3	3	OccSource	1	170.1767	1.968078	0	1.02274	1.521326	Floor 0,0 r	level		0
28	3	4	OccSource	1	173.2908	1.997619	0	1.062849	1.580988	Floor 0,0 r	level		0
29	3	5	OccSource	0	-2.41036	20.47802	0	0	0	Floor 0,0 r	level		0
30	3	6	OccSource	0	-2.40685	18.38194	0	0	0	Floor 0,0 r	level		0
31	3	7	OccSource	0	108.5639	1.881121	0	0	0	Floor 0,0 r	level		0
32	3	8	OccSource	1	-2.31391	21.10826	0	0.354574	0.097508	Floor 0,0 r	level		0
33	3	9	OccSource	1	-2.29631	19.17019	0	0.446914	0.124008	Floor 0,0 r	level		0
34	3	10	OccSource	0	170.9364	0.448598	0	0	0	Floor 0,0 r	level		0
35	3	11	OccSource	1	174.0959	0.44882	0	0.014639	0.000366	Floor 0,0 r	level		0
36	3.5	12	OccSource	1	-2.40747	18.92088	0	0.019922	0.000498	Floor 0,0 r	level		0
37	4	0	OccSource	1	0.715872	21.1767	0	1.047043	3.128042	Floor 0,0 r	level		0
38	4	1	OccSource	1	-0.39912	19.32564	0	0.691945	2.041997	Floor 0,0 r	level		0

Figura 18: esempio di file in ingresso del programma

Le informazioni di interesse rispetto al problema in esame sono le seguenti:

- gli istanti temporali a cui le informazioni afferiscono, che sono riportati nella prima colonna, indicata con la lettera “t”;
- gli identificativi degli agenti a cui tali informazioni afferiscono, che sono riportati nella seconda colonna, indicata con “id”;
- la posizione dell’agente in quel determinato istante, che viene indicata tramite le coordinate orizzontale e verticale, riportate nella quinta e nella sesta colonna, indicate rispettivamente con “x” e “y”. Si assume che i casi trattati siano su un unico piano, quindi è ininfluente qualsiasi coordinata verticale;
- l’ubicazione, riportante la stanza in cui si trova l’agente in quel determinato istante, che viene indicata nella colonna “location”.

Il programma funziona in maniera interattiva, in quanto è responsabilità dell’utente:

1. inserire il parametro di distanziamento sociale richiesto, in metri;
2. inserire la soglia temporale che sarà considerata critica, in minuti;
3. scegliere il file in ingresso da leggere;
4. scegliere il percorso dove salvare i file in uscita (§ paragrafo IL RISCHIO DI CONTAGIO E L’ANALISI DI PROSSIMITÀ per maggiori informazioni).

2.3.2. INDIVIDUAZIONE DELLE INTERAZIONI

Una volta raccolte le informazioni necessarie, è possibile procedere all’individuazione delle interazioni. Il procedimento concettuale utilizzato è il seguente:

1. si considerano tutte e sole le informazioni afferenti ad un solo istante di tempo. Sarebbe infatti privo di senso considerare informazioni appartenenti ad istanti di tempo differenti;
2. si valutano le distanze tra tutte le possibili coppie di utenti;
3. si individuano gli utenti che si trovano nella stessa stanza, in quanto non ha senso valutare come interazione il fatto che due utenti sono troppo vicini tra loro in termini di coordinate (rispetto al limite considerato) ma, nella realtà, siano separati da un muro. D’altro canto, questo impone una leggera limitazione nelle possibilità del software, che non vede come interagenti tra loro due utenti molto vicini in termini di coordinate e ubicati in due stanze differenti comunicanti con una porta aperta (informazione che non può essere trasmessa al software): vengono infatti letti come ubicati in due stanze differenti e quindi al riparo da possibili interazioni reciproche. Si raccomanda all’utente finale, di conseguenza, di pianificare bene le situazioni in prossimità delle porte o dei varchi tra le varie stanze;
4. si valuta quindi se la distanza è inferiore rispetto al limite prestabilito e se, contemporaneamente, i due utenti considerati sono nella stessa stanza;
5. se entrambi i controlli danno esito positivo, allora l’interazione viene registrata.

2.3.3. ELABORAZIONE DEI RISULTATI FINALI

Svolta questa fase, si procede ad una lettura delle interazioni ottenute allo scopo di ottenere i risultati indicati nella fase 1. Si procede quindi ad un'illustrazione dei vari risultati finali ottenuti:

- Matrice E

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 19: Matrice E. Sulla riga 1 si possono leggere gli istanti di calcolo. Sulla colonna A, invece, è possibile leggere le identità

- Media e deviazione standard

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Numero d	0	1	2	3	4	5	6
2	Media	3535.949	42.58161	13.29608	2.847312	0.355914	0.019355	0.001075
3	Deviazion	87.60589	61.44562	28.78468	7.966853	1.321835	0.166169	0.032791

Figura 20: media e deviazione standard, in secondi

- Matrice di massima interazione delle coppie

	A	B	C
1	ID_1	ID_2	Tempo
2	1	8	2
3	1	19	2
4	1	32	2
5	2	8	2
6	2	40	3
7	2	41	3
8	2	44	2
9	2	199	2
10	2	230	1
11	3	8	282
12	3	11	2
13	3	29	4
14	3	38	1
15	3	61	13
16	3	62	3
17	3	63	2
18	3	66	10
19	3	149	1
20	3	153	1
21	4	66	1
22	5	26	3
23	5	29	1
24	5	40	1
25	5	44	1
26	5	46	2
27	6	7	1
28	6	9	2
29	6	13	2
30	6	15	3
31	6	18	2
32	6	20	3
33	6	23	3
34	6	24	1
35	6	26	4
36	6	28	1
37	6	29	46
38	6	30	14

Figura 21: matrice di massima interazione delle coppie

- Matrice di massime interazioni critiche

	A	B	C
1	ID_1	ID_2	Tempo
2	3	8	282
3	3	61	13
4	3	66	10
5	6	29	46
6	6	30	14
7	7	54	49
8	11	38	167
9	11	73	23
10	23	35	202
11	26	29	152
12	26	46	7
13	26	59	8
14	27	127	7
15	29	43	119
16	29	59	14
17	30	43	12
18	30	54	15
19	30	59	16
20	38	73	9
21	39	48	65
22	44	199	7
23	44	277	7
24	45	51	8
25	54	59	7
26	54	77	35
27	56	107	7
28	58	132	8
29	59	103	7
30	59	106	14
31	59	127	28
32	61	66	73
33	66	80	88
34	66	82	113
35	69	73	7
36	69	88	163
37	73	88	9
38	73	126	9

Figura 22: matrice di massima interazione critica tra le coppie

- Matrice dei tempi di esposizione

	A	B	C
1	ID	Durata minima	Durata massima
2	1	2	2
3	2	1	3
4	3	1	282
5	4	1	1
6	5	1	3
7	6	1	46
8	7	1	49
9	8	1	282
10	9	1	6
11	10	1	2
12	11	1	167
13	12	3	3
14	13	2	2
15	14	1	4
16	15	1	3
17	16	1	3
18	17	1	4
19	18	1	3
20	19	1	2
21	20	1	3
22	21	1	5
23	22	1	3
24	23	1	202
25	24	1	3
26	25	1	4
27	26	1	152
28	27	1	7
29	28	1	2
30	29	1	152
31	30	1	16
32	31	1	2
33	32	1	3
34	33	1	6
35	34	1	2
36	35	1	202
37	36	1	5
38	37	1	2

Figura 23: matrice dei tempi di esposizione

- Matrice di esposizione ad altri agenti

	A	B
1	ID	Utenti a cui è esposto
2	1	3
3	2	6
4	3	10
5	4	1
6	5	5
7	6	31
8	7	43
9	8	8
10	9	7
11	10	2
12	11	20
13	12	2
14	13	4
15	14	5
16	15	4
17	16	4
18	17	3
19	18	5
20	19	5
21	20	13
22	21	16
23	22	6
24	23	8
25	24	3
26	25	5
27	26	39
28	27	17
29	28	3
30	29	29
31	30	57
32	31	5
33	32	9
34	33	10
35	34	3
36	35	8
37	36	10
38	37	7

Figura 24: matrice delle esposizioni

- Matrice di esposizione critica ad altri agenti

	A	B
1	ID	Utenti a cui è esposto
2	1	3
3	2	6
4	3	10
5	4	1
6	5	5
7	6	31
8	7	43
9	8	8
10	9	7
11	10	2
12	11	20
13	12	2
14	13	4
15	14	5
16	15	4
17	16	4
18	17	3
19	18	5
20	19	5
21	20	13
22	21	16
23	22	6
24	23	8
25	24	3
26	25	5
27	26	39
28	27	17
29	28	3
30	29	29
31	30	57
32	31	5
33	32	9
34	33	10
35	34	3
36	35	8
37	36	10
38	37	7

Figura 25: matrice delle esposizioni critiche

- Matrice con i tempi di esposizione cumulativi

	A	B
1	ID	Tempo totale di esposizione
2	1	6
3	2	13
4	3	319
5	4	1
6	5	8
7	6	117
8	7	125
9	8	296
10	9	18
11	10	3
12	11	231
13	12	6
14	13	8
15	14	13
16	15	7
17	16	7
18	17	7
19	18	10
20	19	8
21	20	21
22	21	26
23	22	11
24	23	213
25	24	7
26	25	13
27	26	243
28	27	32
29	28	5
30	29	391
31	30	163
32	31	6
33	32	17
34	33	27
35	34	4
36	35	215
37	36	22
38	37	11

Figura 26: matrice con i tempi di esposizione cumulativi

- Matrice con i tempi critici di esposizione cumulativi

	A	B
1	ID	Tempo totale di esposizione
2	1	0
3	2	0
4	3	305
5	4	0
6	5	0
7	6	60
8	7	49
9	8	282
10	9	0
11	10	0
12	11	190
13	12	0
14	13	0
15	14	0
16	15	0
17	16	0
18	17	0
19	18	0
20	19	0
21	20	0
22	21	0
23	22	0
24	23	202
25	24	0
26	25	0
27	26	167
28	27	7
29	28	0
30	29	331
31	30	57
32	31	0
33	32	0
34	33	0
35	34	0
36	35	202
37	36	0
38	37	0

Figura 27: matrice dei tempi cumulativi delle esposizioni critiche

- Grafico relativo alle distribuzioni temporali

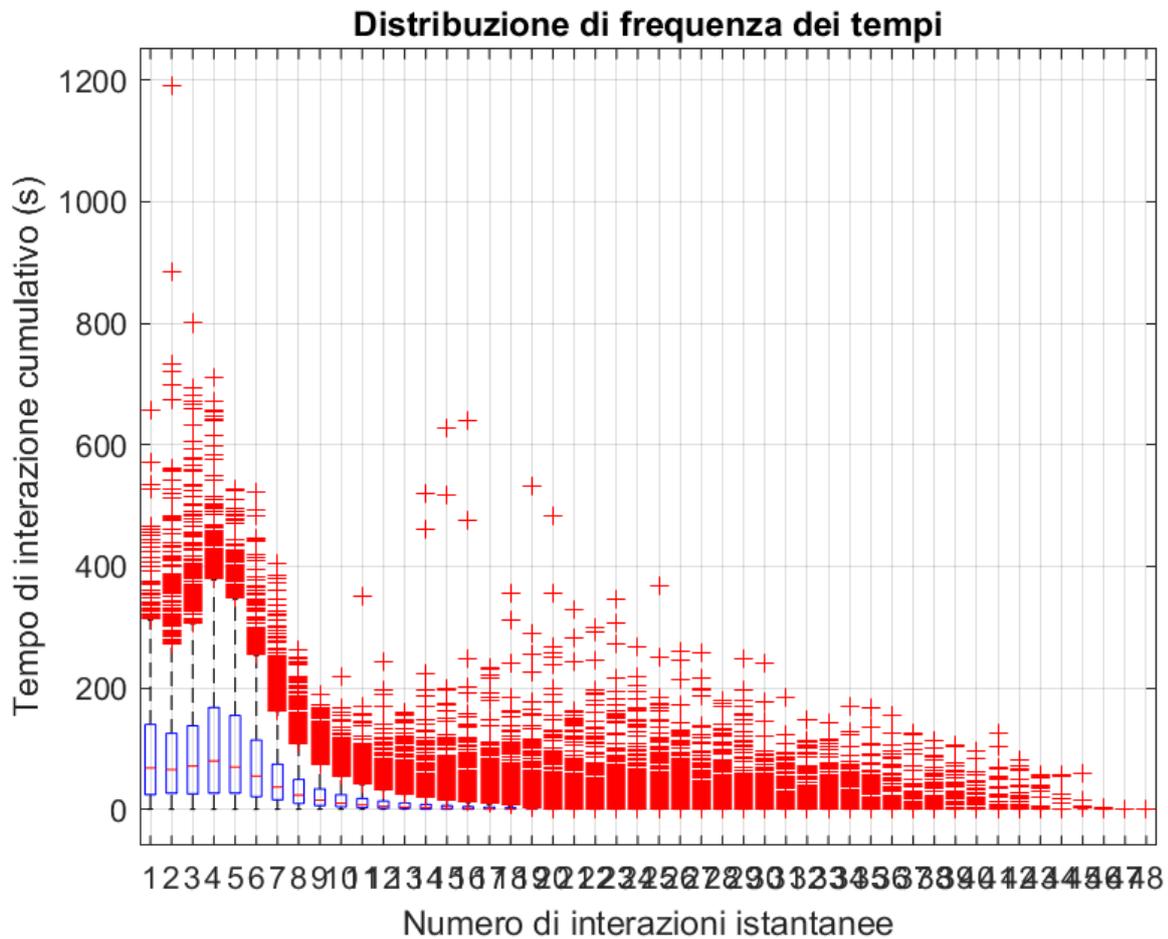


Figura 28: grafico recante media e deviazione standard delle distribuzioni temporali

- Percentuale di utenti con interazione massima superiore o inferiore alla soglia critica

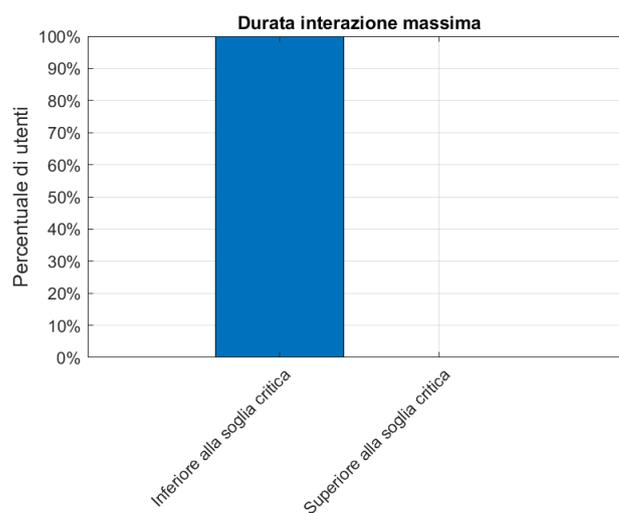


Figura 29: grafico con le percentuali di utenti con interazione massima superiore o inferiore alla soglia critica

- Percentuale di utenti con interazione minima superiore o inferiore alla soglia critica

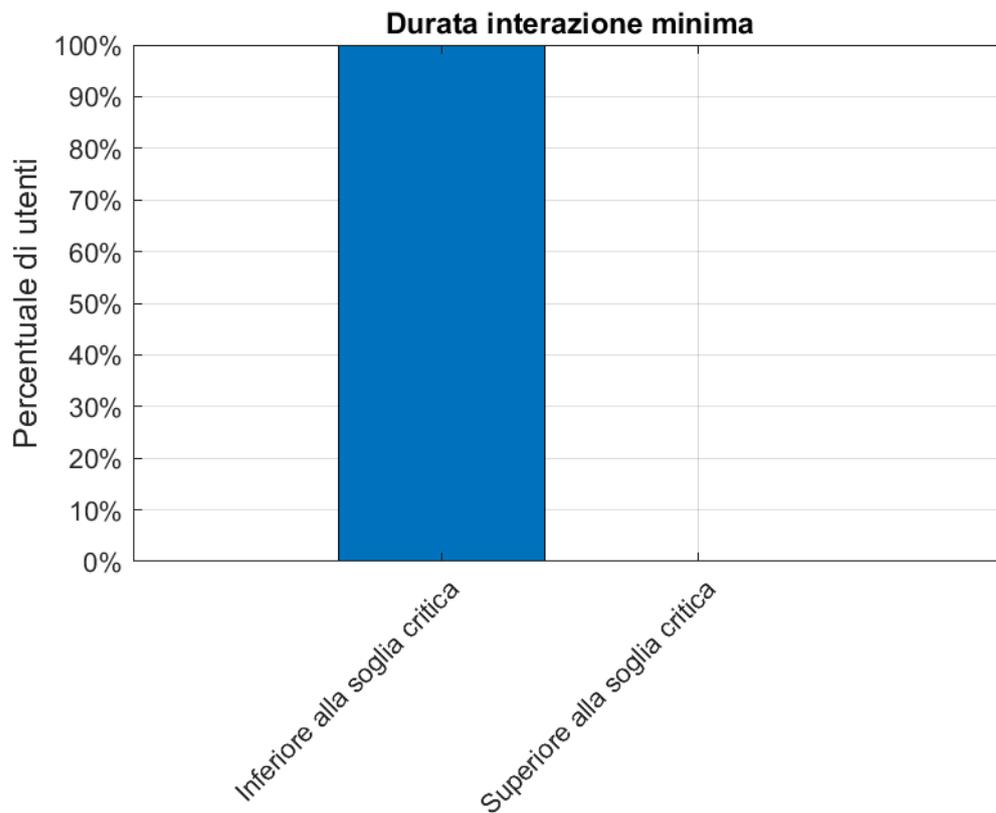


Figura 30: grafico con le percentuali di utenti con interazione minima superiore o inferiore alla soglia critica

- Scansione dei numeri di interazione in classi di frequenza

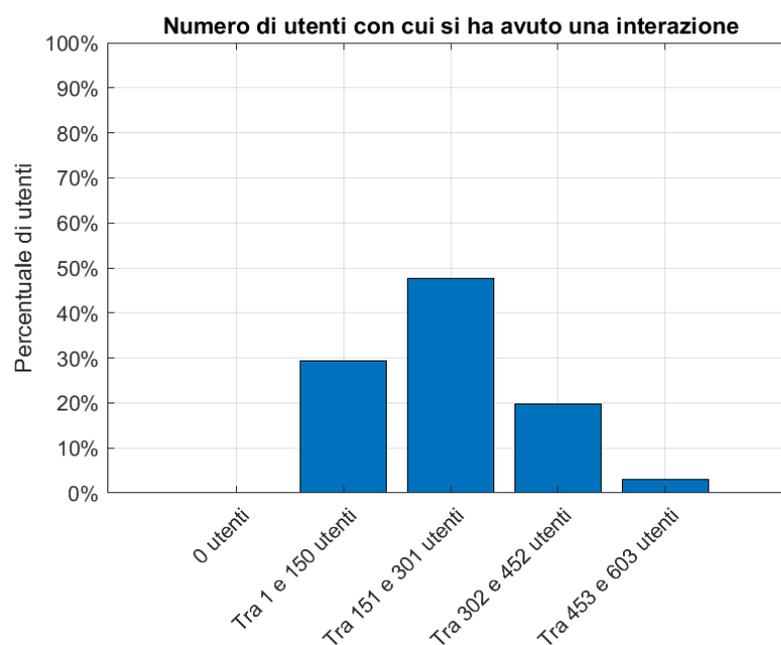


Figura 31: grafico con la scansione dei numeri di interazione in classi di frequenza

- Scansione dei numeri di interazione critica in classi di frequenza
- Scansione dei tempi cumulativi di interazione in classi di frequenza

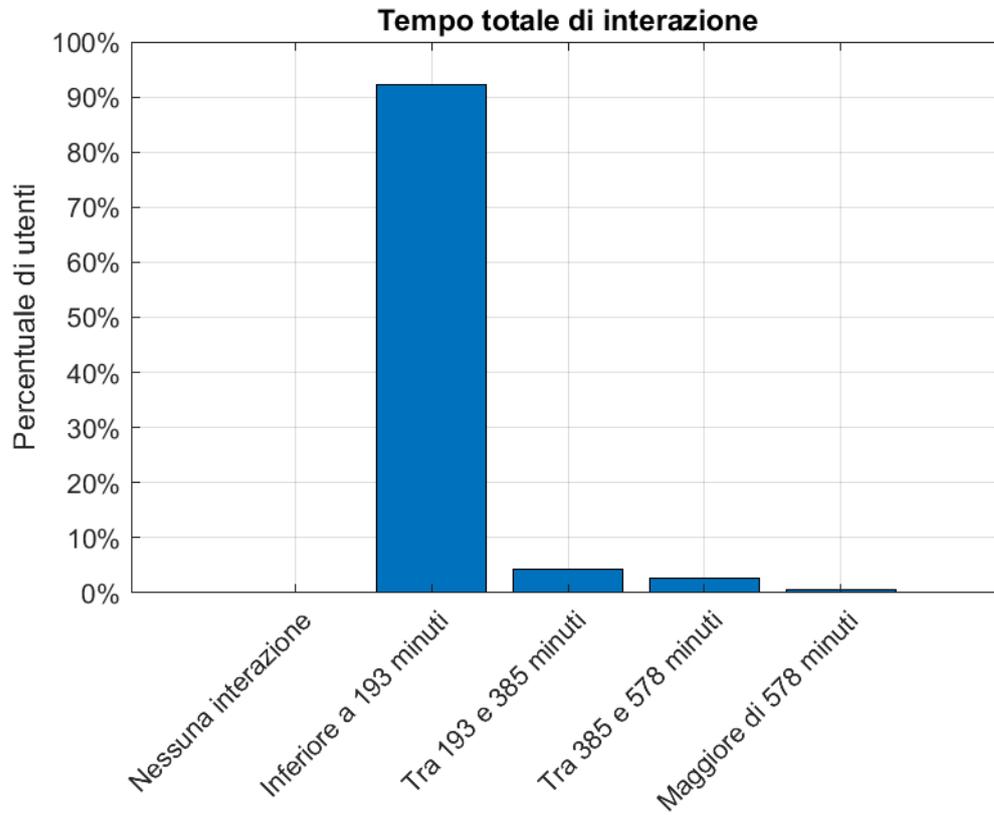


Figura 32: grafico con la scansione dei tempi cumulativi di interazione in classi di frequenza

- Scansione dei tempi cumulativi di interazione critica in classi di frequenza

3. CASO STUDIO: IL CENTRO COMMERCIALE

L'obiettivo di questa parte è quello di effettuare uno studio su un caso realistico, ossia la regolazione dei flussi di persone all'interno di un centro commerciale. Si applicherà tutto quello che è stato illustrato precedentemente, allo scopo di ottenere dei risultati pratiche.

3.1. DESCRIZIONE DELLA GEOMETRIA

Si procede con l'esame della geometria di studio, partendo da una sua rappresentazione grafica:



Figura 33: rappresentazione del centro commerciale

Gli elementi salienti sono:

- il corridoio, rappresentato in verde, che conduce ai vari negozi;
- i negozi stessi, rappresentati dalle varie stanze laterali;
- le porte gialle, che separano tra di loro le varie stanze;
- le porte verdi, che rappresentano gli ingressi e le uscite dalla simulazione e in corrispondenza delle quali si trovano le generatrici di occupanti;
- un occupante già presente (può essere assimilato a un vigilante o ad altro personale di servizio).

3.2. ILLUSTRAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEGLI OCCUPANTI

Coerentemente con il modello esposto, si procede con la definizione delle caratteristiche degli occupanti. Queste sono definite in Pathfinder nella scheda “Profili” (Profiles) e sono ripartite in più sottoriquadri.

3.2.1. CARATTERISTICHE DI BASE

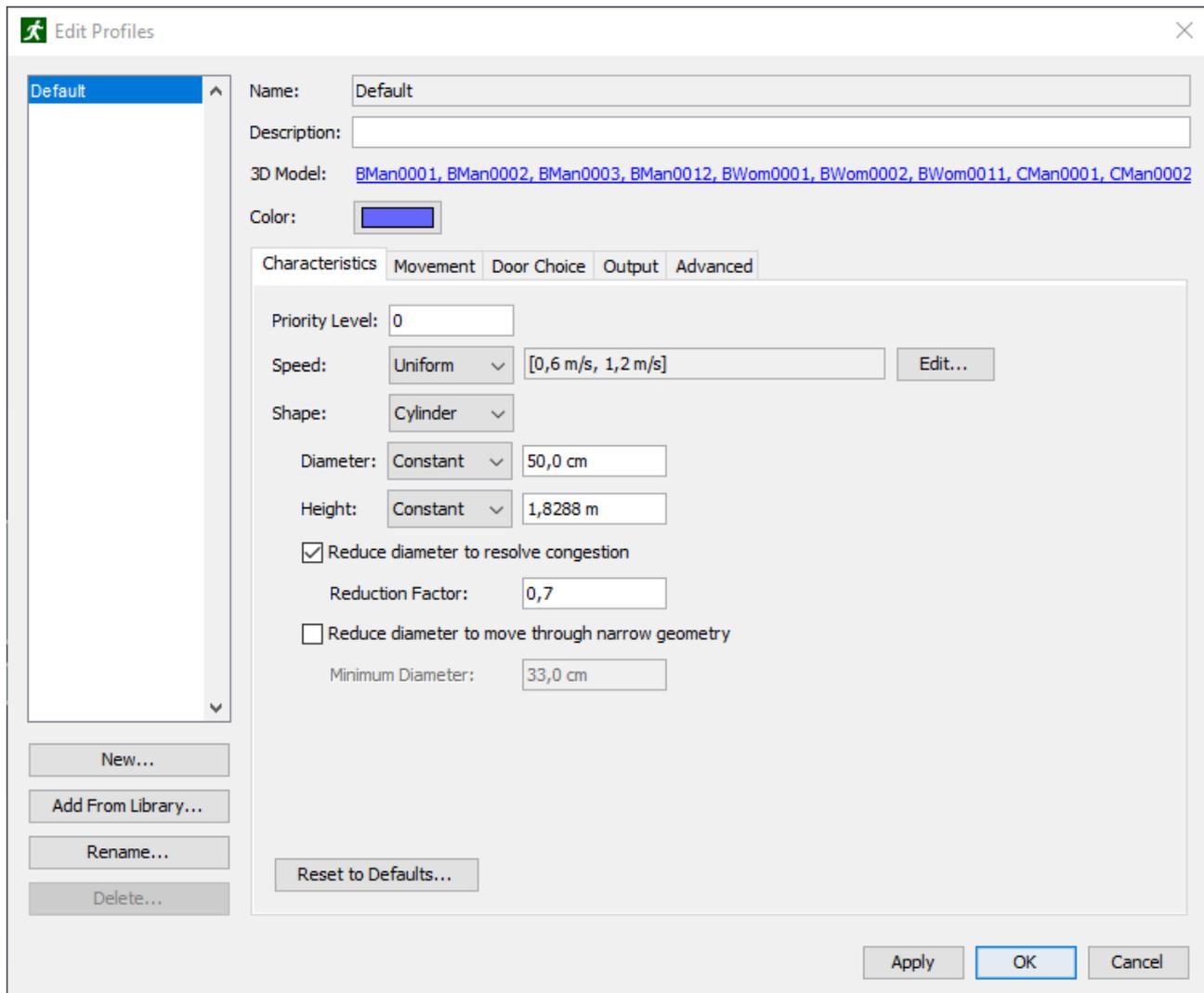


Figura 34: definizione delle caratteristiche di base degli agenti di simulazione

Nelle caratteristiche di base si imposta:

- la velocità, che in questo caso segue una distribuzione uniforme;
- la forma degli agenti, indicata come un cilindro di dimensioni assegnate;
- il fattore di riduzione del diametro in spazi congestionati, che ricalca il fatto che le persone, in ambienti molto affollati, si dispongono in modo da occupare meno spazio possibile lungo alcune direzioni (per esempio, mettendosi di lato).

3.2.2. PARAMETRI DI MOVIMENTO

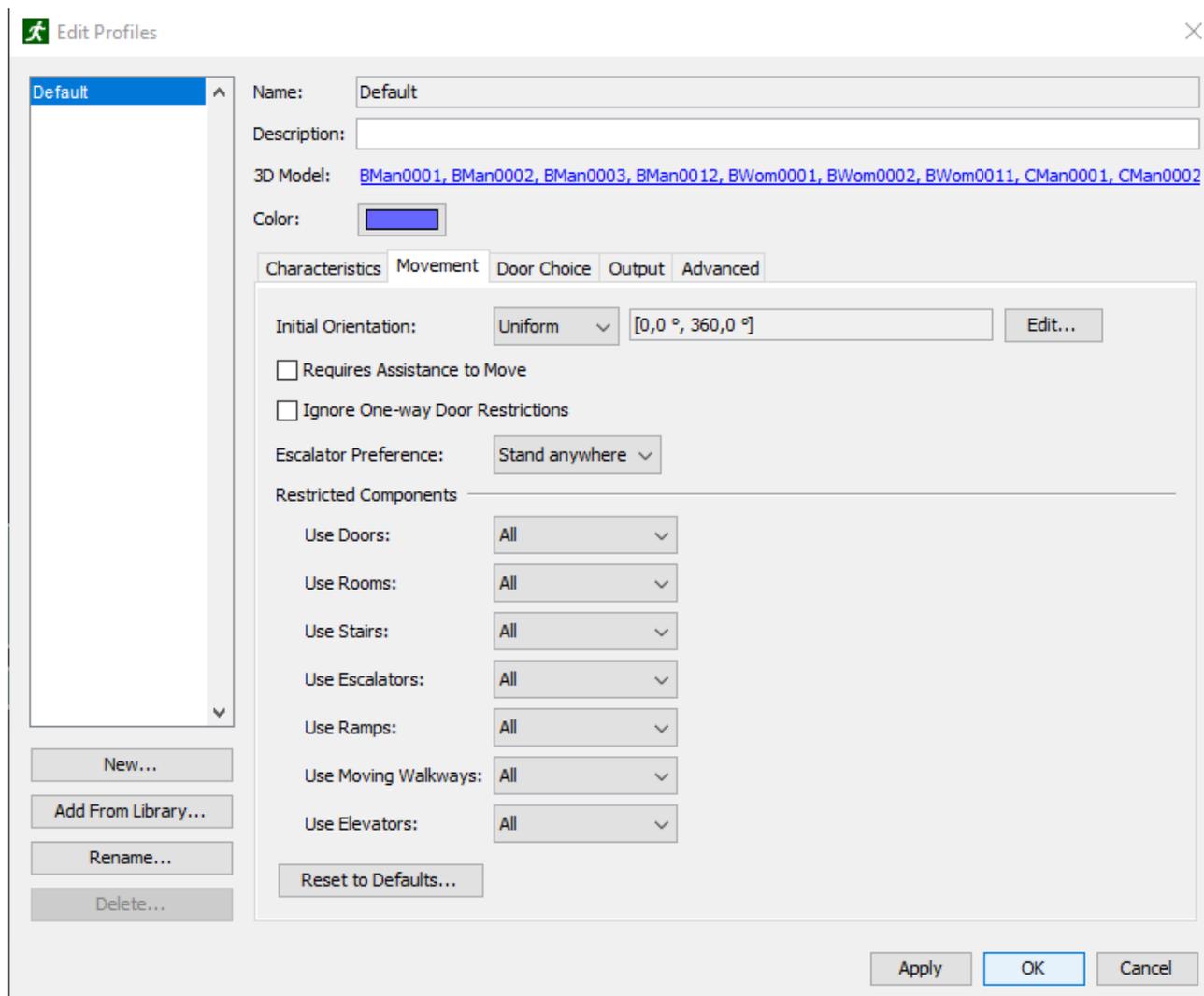


Figura 35: definizione dei parametri di movimento

Sono qui riportate:

- l'orientazione iniziale degli agenti, con una distribuzione uniforme;
- possono essere fissate, ma non in questo caso, delle eccezioni particolari come la necessità di assistenza o il poter varcare delle porte a senso unico liberamente;
- preferenze di comportamento nel caso di attesa di ascensori, non necessario in questo caso;
- restrizioni sull'uso di particolari vie di movimento all'interno dello scenario.

3.2.3. PREFERENZE SUI RISULTATI IN USCITA

In questo sottoriquadro viene chiesto se si vogliono ottenere dei file .csv in uscita, necessari per proseguire col lavoro di analisi di prossimità.

3.2.4. PARAMETRI AVANZATI

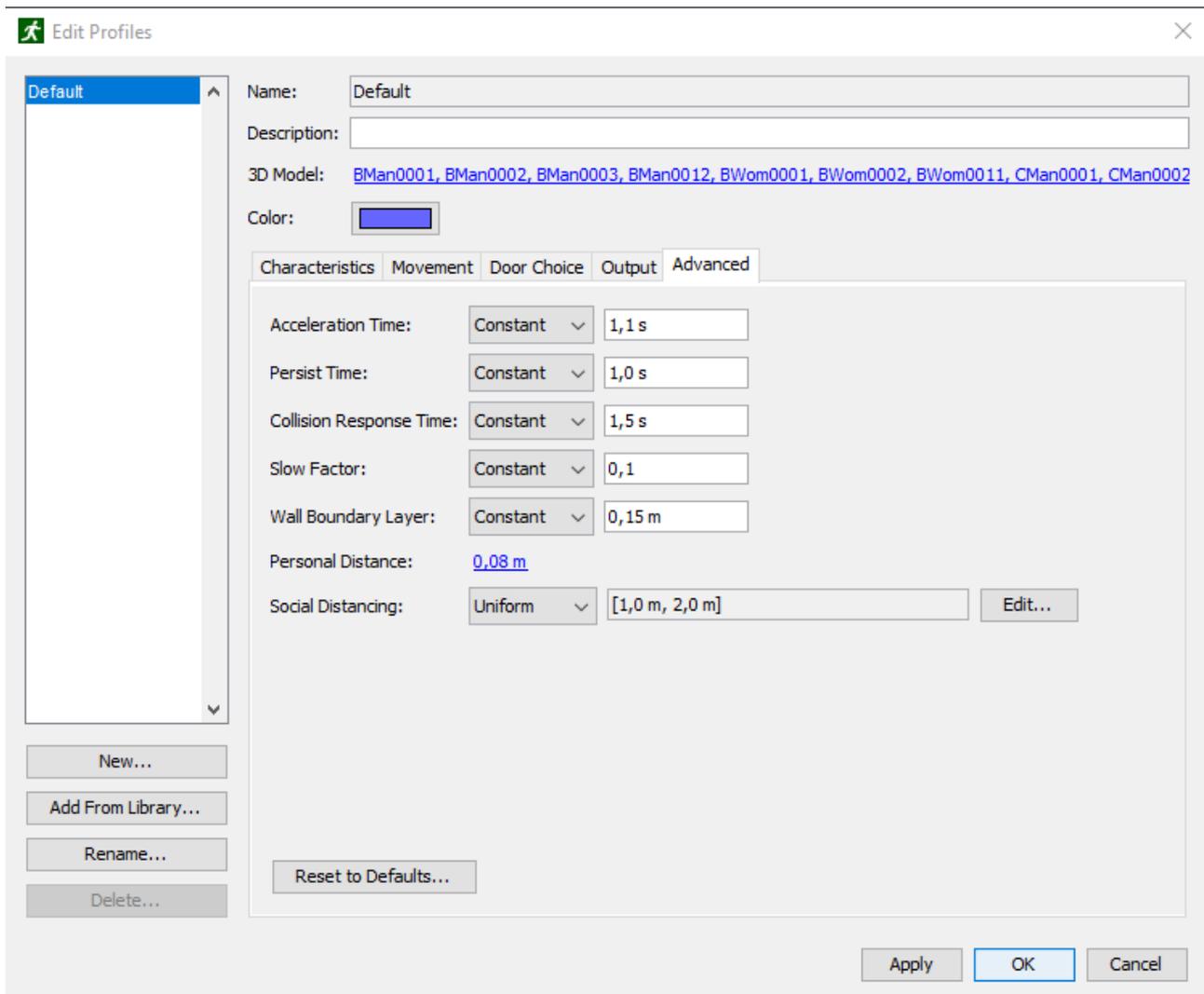


Figura 36: parametri di simulazione avanzati

In questa sezione sono riportati i parametri di simulazione avanzati:

- tempo di accelerazione;
- tempo di persistenza;
- tempo di risposta alle collisioni;
- fattore di rallentamento;
- distanza che viene mantenuta dalle pareti;
- distanza personale;
- distanziamento sociale.

Per ciascuno di questi parametri è possibile adottare un valore costante o una distribuzione. Si può osservare, infatti, che per il distanziamento sociale è stata scelta una distribuzione uniforme, variabile tra un metro e due metri. Si rammenta la differenza che intercorre tra distanziamento sociale e distanza personale: il distanziamento sociale è misurato tra gli assi dei cilindri, la distanza

personale tra le superfici degli stessi. A parità di valore impostato, sarà quindi più stringente il parametro distanza personale.

Per quanto riguarda la generazione degli occupanti, si è optato per un rateo in ingresso costante in ciascuna delle porte indicate in verde:

- una persona al secondo per le porte a sinistra e quella al centro;
- una persona ogni due secondi (tradotto dal programma come 0.5 persone al secondo) dalle porte ubicate a destra.

3.2.5. DEFINIZIONE DEI MOVIMENTI E DEI COMPORAMENTI

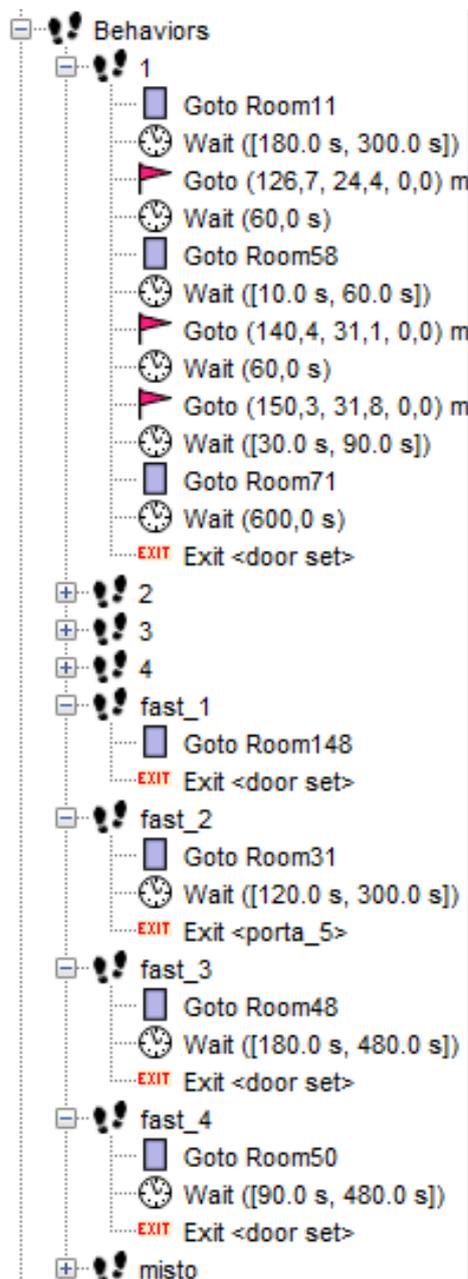


Figura 37: differenti schemi di movimento possibili nella simulazione

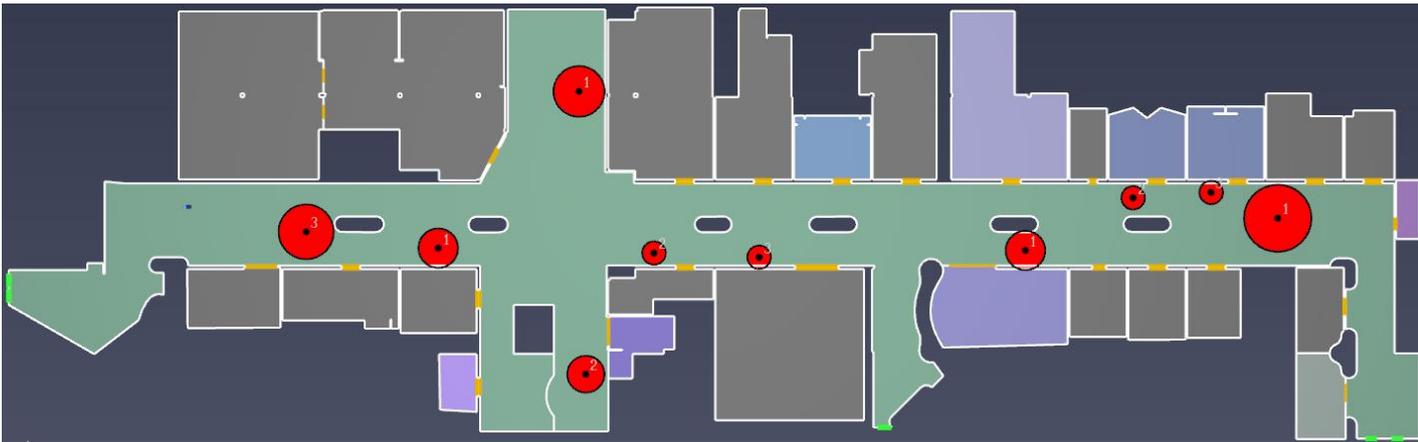


Figura 38: rappresentazione grafica all'interno della mappa del centro commerciale

Sono stati realizzati differenti schemi comportamentali, rappresentanti le differenti intenzioni delle persone che transitano per il centro commerciale:

- i comportamenti indicati come "1", "2", "3", "4" rappresentano le persone che entrano per fare compere e girare per i negozi, con molto tempo a disposizione. Ne viene mostrato uno in figura 38, gli altri sono analoghi, con semplicemente differenti negozi visitati;
- i comportamenti indicati dal prefisso "fast_" rappresentano le persone che entrano per recarsi in un preciso negozio, svolgere una commissione più o meno breve e subito uscire;
- il comportamento "misto" è, come dice il nome, un comportamento ibrido tra quelli esposti in precedenza.

Per simulare il fatto che non tutte le persone entrano nel centro commerciale con gli stessi scopi, si è optato per inserire una distribuzione probabilistica di comportamenti correlata a ciascuna sorgente di occupanti.

La struttura di queste distribuzioni è la stessa per tutte le sorgenti, con un comportamento leggermente favorito sugli altri (probabilità del 20%), che invece hanno la stessa probabilità di manifestarsi all'ingresso di un nuovo agente nella simulazione (probabilità del 10%). L'unica cosa che cambia è il comportamento che viene di volta in volta favorito.

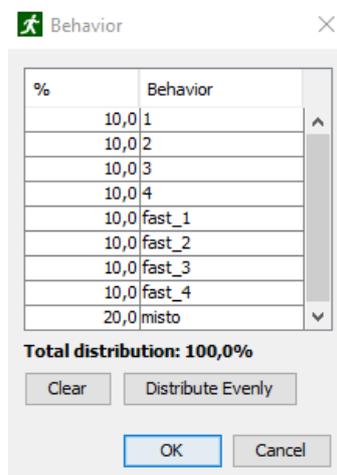


Figura 39: esempio di distribuzione dei comportamenti

3.2.6. SIMULAZIONE

Si è giunti, a questo punto, alla fase 5. In questa fase si procede alla simulazione all'interno di Pathfinder. L'obiettivo è ottenere, come illustrato nel capitolo 2, un file in formato .csv che contenga tutte le informazioni necessarie per l'analisi di prossimità.

È quindi opportuno assicurarsi che sia abilitata la creazione di suddetto file:



Figura 40: abilitazione alla creazione dei file .csv

Si procede quindi con la simulazione. In caso di simulazioni ragguardevoli, le attività di simulazione e scrittura possono richiedere molto tempo. Il file d'interesse si chiama "201104_centroComm_caso 2_occupants_detailed.csv", ed è così strutturato:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	t,"id","name","active","x","y","z","v","distance","location","terrain type","last_goal_started"									
2	s,"", "", "", "m", "m", "m", "m/s", "m", "", "", ""									
3	0.000000,0,"00001",0,20.500000,30.000000,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
4	0.500000,1,"OccSource01_0001",1,-2.409832,20.506727,0.000000,0.023121,0.000578,"corridoio","level",0									
5	0.500000,2,"OccSource02_0001",0,-2.407881,18.996963,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
6	0.500000,3,"OccSource03_0001",1,108.904538,1.881691,0.000000,0.022792,0.000570,"corridoio","level",0									
7	1.000000,0,"00001",0,20.500000,30.000000,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
8	1.000000,1,"OccSource01_0001",1,-2.277013,20.512586,0.000000,0.485551,0.133526,"corridoio","level",0									
9	1.000000,2,"OccSource02_0001",0,-2.407881,18.996963,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
10	1.000000,3,"OccSource03_0001",1,108.900134,2.012671,-0.000000,0.478631,0.131624,"corridoio","level",0									
11	1.000000,4,"OccSource04_0001",1,171.188896,0.449097,0.000000,0.020036,0.000501,"corridoio","level",0									
12	1.000000,5,"OccSource05_0001",1,174.177528,0.448966,0.000000,0.024565,0.000614,"corridoio","level",0									
13	1.500000,6,"OccSource01_0002",1,-2.410960,20.835819,0.000000,0.024078,0.000602,"corridoio","level",0									
14	1.500000,7,"OccSource02_0002",0,-2.406308,18.057115,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
15	1.500000,8,"OccSource03_0002",1,109.362041,1.881121,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
16	2.000000,0,"00001",0,20.500000,30.000000,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
17	2.000000,1,"OccSource01_0001",1,-1.406758,20.550977,0.000000,1.017345,1.004628,"corridoio","level",0									
18	2.000000,2,"OccSource02_0001",0,-2.407881,18.996963,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
19	2.000000,3,"OccSource03_0001",1,108.871282,2.870873,0.000000,1.002846,0.990310,"corridoio","level",0									
20	2.000000,4,"OccSource04_0001",1,171.149188,0.878027,0.000000,0.821458,0.431265,"corridoio","level",0									
21	2.000000,5,"OccSource05_0001",1,173.754818,0.765585,0.000000,1.007151,0.528754,"corridoio","level",0									
22	2.000000,6,"OccSource01_0002",1,-2.411069,20.900829,0.000000,0.024078,0.006511,"corridoio","level",0									
23	2.000000,7,"OccSource02_0002",0,-2.406308,18.057115,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
24	2.000000,8,"OccSource03_0002",1,109.362041,1.881121,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
25	2.500000,9,"OccSource01_0003",0,-2.409951,20.233151,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
26	2.500000,10,"OccSource03_0003",1,108.747821,1.881382,0.000000,0.015123,0.000378,"corridoio","level",0									
27	3.000000,0,"00001",0,20.500000,30.000000,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
28	3.000000,1,"OccSource01_0001",1,-0.390401,20.595813,0.000000,1.017345,2.021973,"corridoio","level",0									
29	3.000000,2,"OccSource02_0001",0,-2.407881,18.996963,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
30	3.000000,3,"OccSource03_0001",1,108.837587,3.873152,0.000000,1.002846,1.993156,"corridoio","level",0									
31	3.000000,4,"OccSource04_0001",1,171.068063,1.754342,0.000000,0.881564,1.311327,"corridoio","level",0									
32	3.000000,5,"OccSource05_0001",1,172.891210,1.412445,0.000000,1.080845,1.607756,"corridoio","level",0									
33	3.000000,6,"OccSource01_0002",1,-2.201414,21.089034,0.000000,0.741762,0.361597,"corridoio","level",0									
34	3.000000,7,"OccSource02_0002",0,-2.406308,18.057115,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
35	3.000000,8,"OccSource03_0002",1,109.357464,1.891359,0.000000,0.000000,0.012993,"corridoio","level",0									
36	3.000000,9,"OccSource01_0003",0,-2.409951,20.233151,0.000000,0.000000,0.000000,"corridoio","level",0									
37	3.000000,10,"OccSource03_0003",1,108.682775,1.943724,0.000000,0.332867,0.090588,"corridoio","level",0									

Figura 41: file .csv in uscita da Pathfinder

È possibile ora procedere con la processazione dei dati ai fini dell'analisi di prossimità.

3.3. CONFRONTO CON L'APPLICAZIONE "IMMUNI"

Si procede, a questo punto, con la prima applicazione del programma. Ci si trova, infatti, nella fase di processazione dei risultati generati da Pathfinder allo scopo di effettuare l'analisi di prossimità.

Come primo caso, si desidera verificare cosa indicherà il programma adottando gli stessi criteri dell'applicazione per dispositivi mobili "Immuni".



Figura 42: logo della nota applicazione Immuni (AGID - Agenzia per l'Italia digitale, 2020)

Come è noto, questa applicazione è stata promossa direttamente dal governo italiano e serve per il tracciamento dei contatti. È stata concepita per prevenire i *focolai* di COVID-19 quando, in estate, la diffusione del virus si era molto ridotta ed evitare, almeno in linea di principio, una *seconda ondata*. Il funzionamento dell'applicazione, sebbene noto, viene qui di seguito riepilogato (Immuni - Domande Frequenti, 2020):

- viene generato un codice identificativo associato al telefono o dispositivo mobile in cui l'applicazione è installata;
- tramite il Bluetooth, viene rilevato se vi sono interazioni critiche con altre persone;
- viene tenuto uno storico di tali interazioni critiche;
- quando una persona diventa positiva al virus, è suo dovere avvisare le autorità, in modo che il codice associato al suo telefono o dispositivo mobile venga registrato come infetto e si avvisino le persone che hanno avuto un'interazione critica con la stessa, in quanto *contatti stretti*.

L'applicazione considera critiche le interazioni che soddisfano determinati criteri. Tali criteri saranno quelli utilizzati in questa prima analisi di prossimità, e sono i seguenti (Immuni - Domande Frequenti, 2020):

- distanza interpersonale inferiore a due metri;
- interazione continuativa superiore a 15 minuti.

Tali dati verranno inseriti nella finestra di comando appena il programma viene eseguito, come indicato in figura:

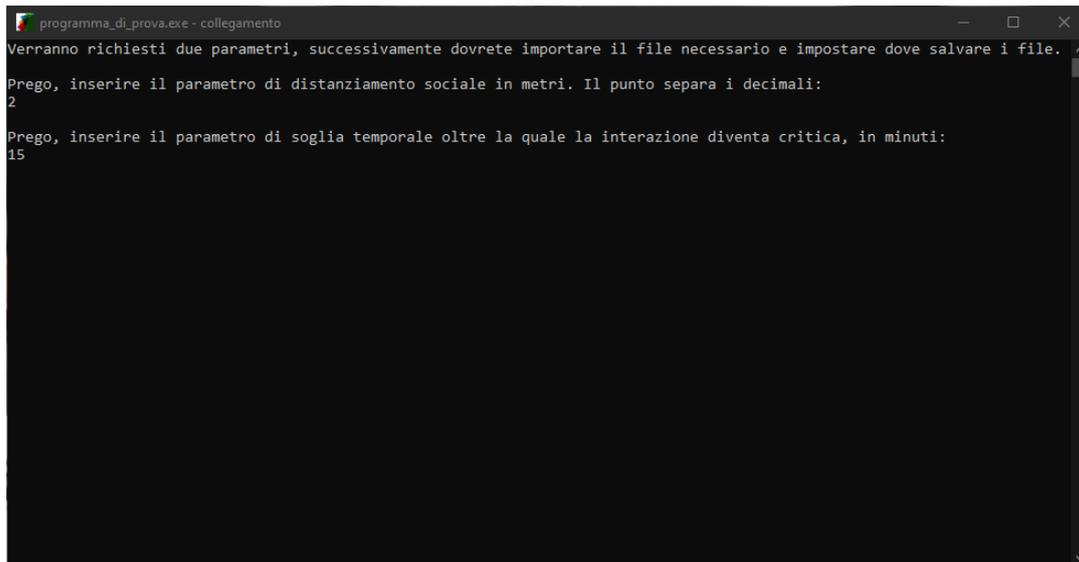


Figura 43: inserimento dei dati di interazione critica

Viene successivamente richiesto da dove importare il file in ingresso, ossia il file generato da Pathfinder:

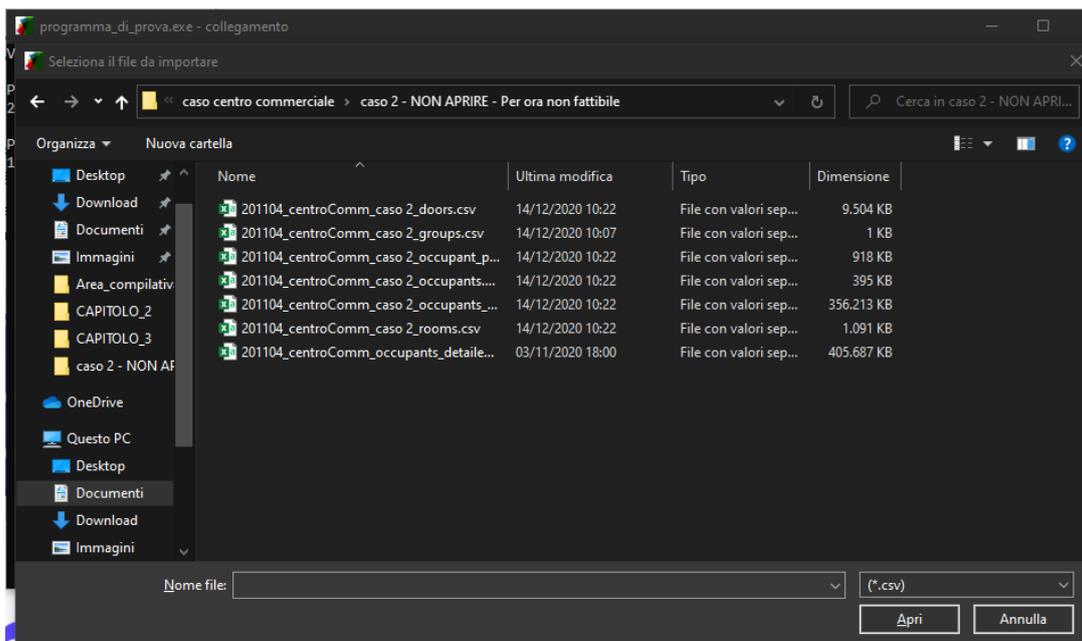


Figura 44: importare il file di Pathfinder

A questo viene richiesto dove salvare i risultati, bisogna quindi scegliere il percorso che si ritiene più opportuno:

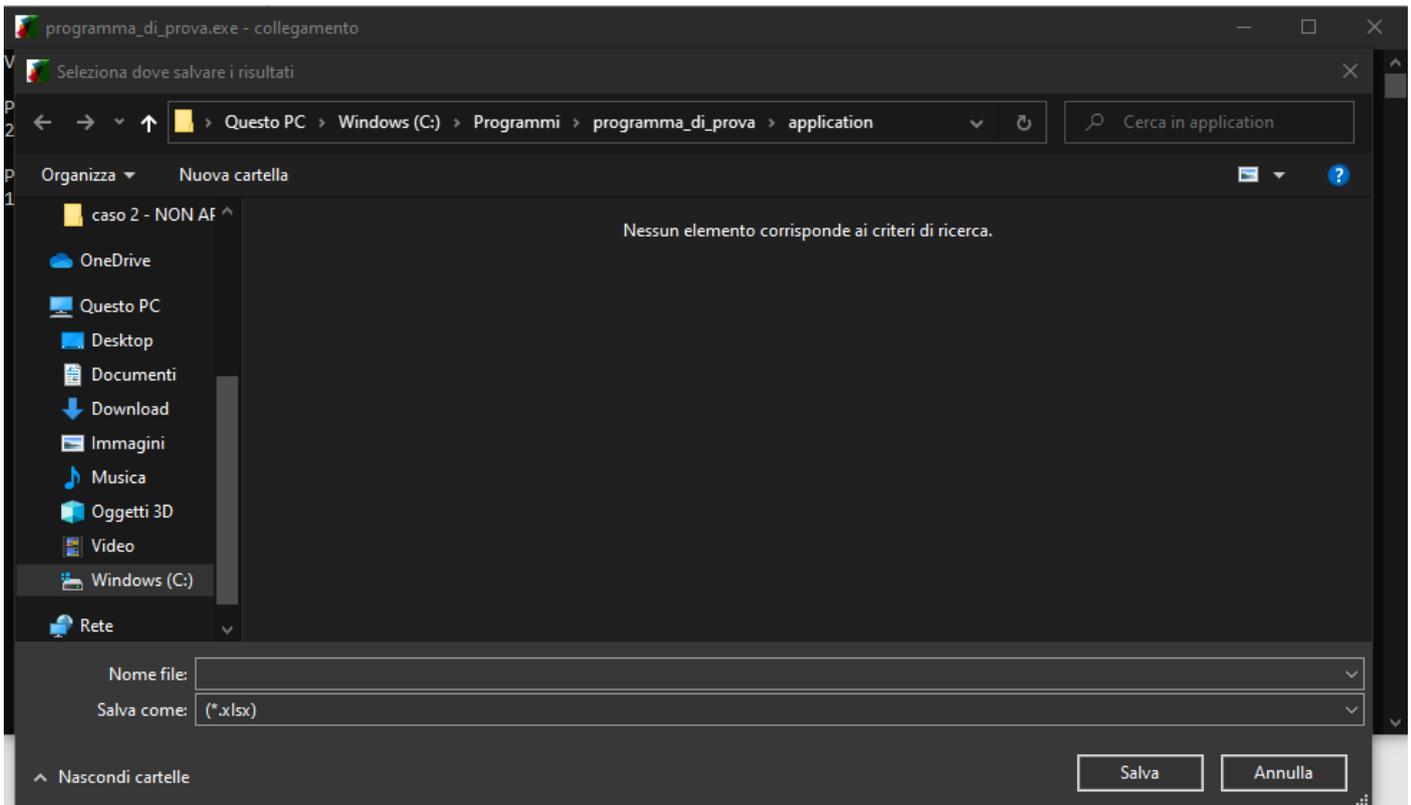


Figura 45: salvataggio dei risultati dell'analisi

3.2.1. ESAME DELLA MATRICE “E” E CONSIDERAZIONI

Il primo risultato che viene offerto dall’analisi di prossimità è la matrice E, dal cui esame si muovono le prime considerazioni. Non si riporta, per ragioni legate al numero sia degli agenti, sia degli istanti, la stessa nella sua forma completa, ma si procede direttamente alle prime considerazioni:

- il numero massimo di interazioni istantanee per utente riscontrate è pari a 48, e corrisponde all’agente con numero identificativo 1288, all’istante 3470. Effettuando un calcolo sulla densità di persone per unità di superficie, assunta una circonferenza di raggio pari a due metri, si ottiene:

$$\rho = \frac{48}{\pi * 2^2} pp/m^2 = \frac{48}{12.566} pp/m^2 = 3,82 pp/m^2$$

Si allega un’immagine del centro commerciale nell’istante considerato.

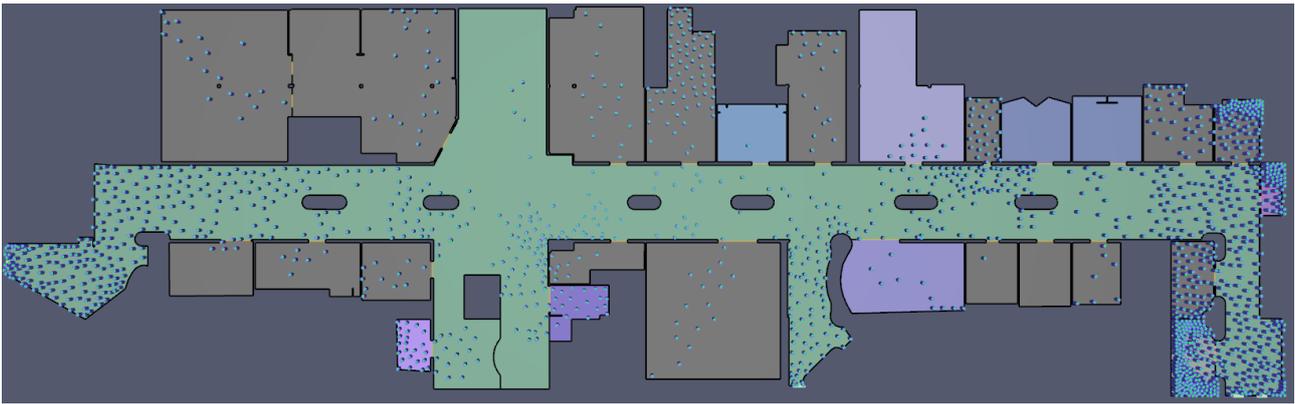


Figura 46: centro commerciale nell'istante $t = 3470$ s

È possibile osservare come vi siano diverse situazioni di assembramento.

Si aggiunge il grafico con la distribuzione dei tempi cumulativi associati a ciascuna interazione:

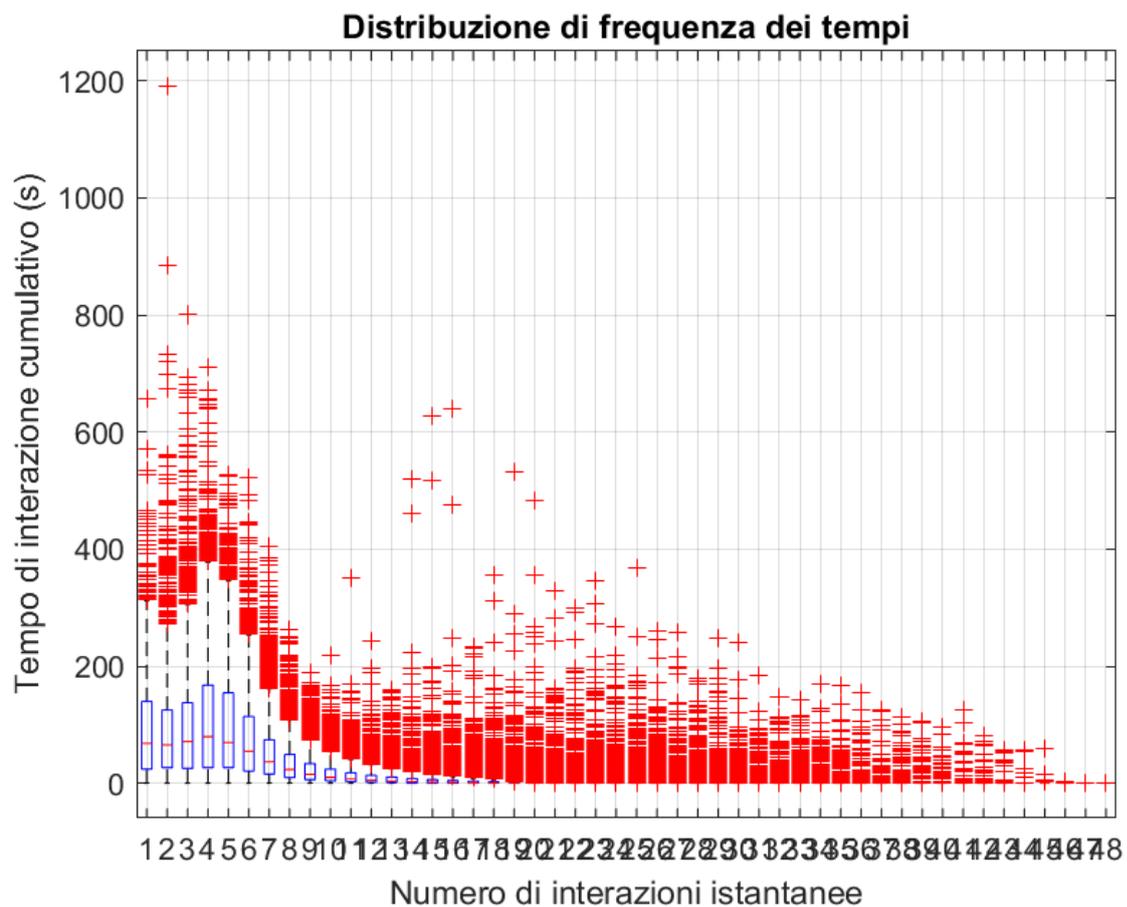


Figura 47: grafico contenente le distribuzioni temporali delle interazioni istantanee

Si vorrebbe, a questo punto, osservare se tale distribuzione può essere considerata come normale o se, viceversa, è definibile una tendenza. Per verificare ciò, si procede con il test ANOVA.

3.2.2. TEST ANOVA SULLA DISTRIBUZIONE DEI TEMPI DI INTERAZIONE

Il test ANOVA (Analysis of Variance, ossia Analisi della Varianza) serve per verificare se effettivamente i dati di questa distribuzione seguano un andamento casuale o se, viceversa, sia individuabile una tendenza, che può essere successivamente approfondita.

Si considera ciascuna distribuzione temporale associata a un numero di interazioni istantanee come un gruppo di misurazione (campione), di cui sono noti i valori, la dimensione, la media e la deviazione standard. L'obiettivo è ottenere i seguenti parametri:

- somma dei quadrati dell'intero insieme di misurazione SS_{tot} , conosciuta anche come devianza totale. Detto x_{ij} il valore generico all'interno dell'insieme di misurazione e \bar{x} il valore di media generale, la devianza totale viene calcolata come:

$$SS_{tot} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2$$

- devianza all'interno dei gruppi SS_{entro} . Detta n_i la dimensione del singolo gruppo e s_i^2 la varianza di un singolo gruppo, tale parametro viene calcolato come:

$$SS_{entro} = \sum_{i=1}^k (n_i - 1)s_i^2$$

- devianza tra i vari gruppi SS_{tra} , calcolabile note n_i dimensione del singolo gruppo, \bar{x}_i la media del singolo gruppo e \bar{x} il valore di media generale secondo la seguente formula:

$$SS_{tra} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$$

Per mezzo di questi dati si ottengono le seguenti varianze, definiti n il numero totale di misurazioni e k il numero dei gruppi:

- s_{entro}^2 , ossia la varianza entro i gruppi:

$$s_{entro}^2 = \frac{SS_{entro}}{n - k}$$

- s_{tra}^2 , ossia la varianza tra i differenti gruppi:

$$s_{tra}^2 = \frac{SS_{tra}}{k - 1}$$

A questo punto si può calcolare il parametro F:

$$F = \frac{s_{tra}^2}{s_{entro}^2}$$

Se l'ipotesi nulla fosse vera, allora il parametro F dovrebbe avere un valore assimilabile a quello unitario. In generale, F deve essere confrontato con la distribuzione di Fisher avente come gradi di libertà $k-1$ e $n-k$, in modo da ottenere la distribuzione di probabilità P e la significatività α , ossia il margine di errore/rischio con cui rifiutare l'ipotesi nulla.

In questo caso si ottiene che:

SORGENTE DELLA VARIABILITÀ	SOMMA DEI QUADRATI	GRADI DI LIBERTÀ	STIMA DELLA VARIANZA	F	P	α
TRA GRUPPI	1.97E+08	1.44E+05	1.38E+03	2.20E+03	100.00%	0.00%
ENTRO GRUPPI	1.42E+08	47.00	3.02E+06			
TOTALE	3.39E+08	1.44E+05				

Tabella 1: risultati del test ANOVA

Si ottiene, di conseguenza, che sicuramente i dati non seguono una distribuzione normale. Si vuole, quindi, individuare quale sia la tendenza seguita. Confrontando le medie dei tempi di interazione con il numero delle stesse, si ottiene il seguente andamento:

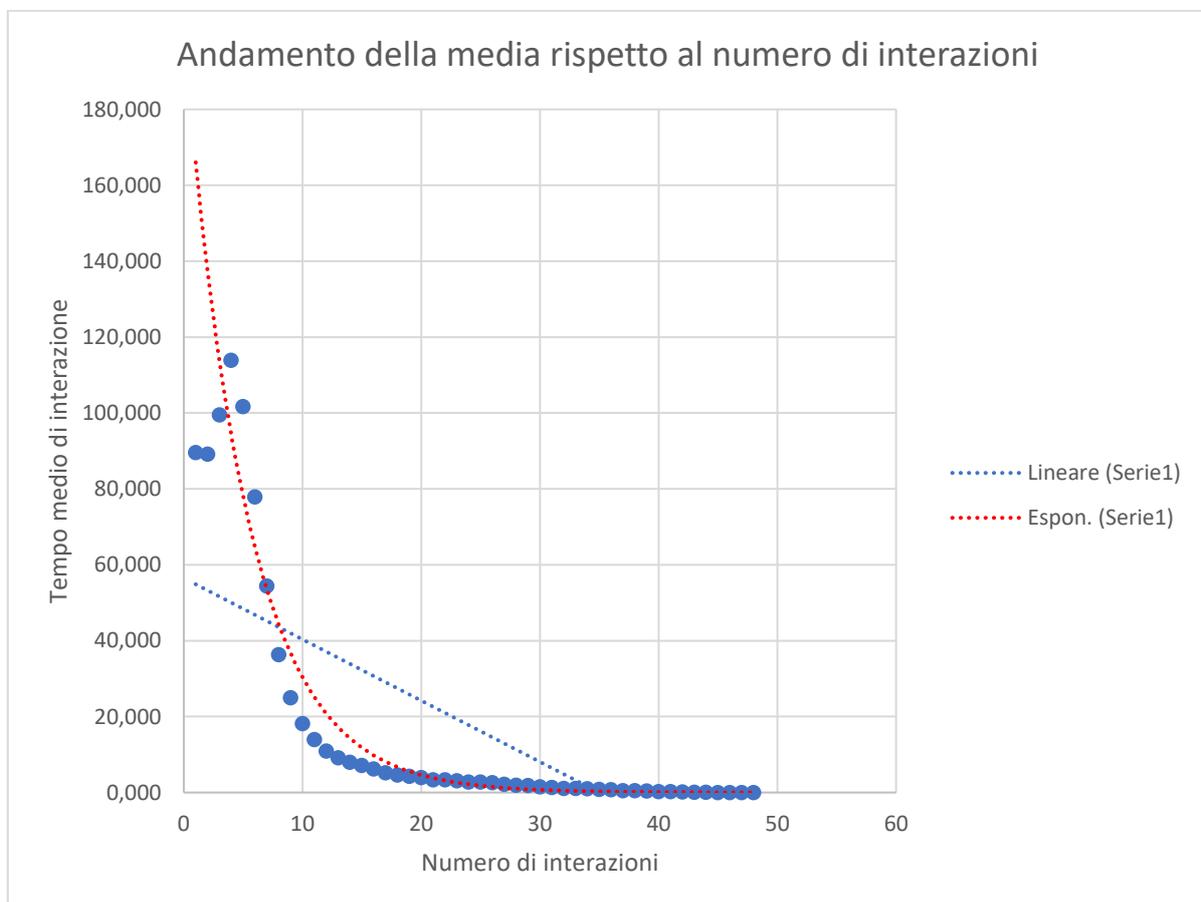


Figura 48: grafico recante l'andamento della media rispetto al numero di interazioni

Si osserva come la tendenza che meglio approssima il grafico sia una tendenza esponenziale, espressa dalla funzione calcolata tramite foglio di calcolo Excel:

$$y = 200.502 * 0.828^x$$

Dove y rappresenta il valore di tempo medio e x il numero di interazioni.

Per quanto riguarda la varianza, si ottiene invece il seguente andamento:

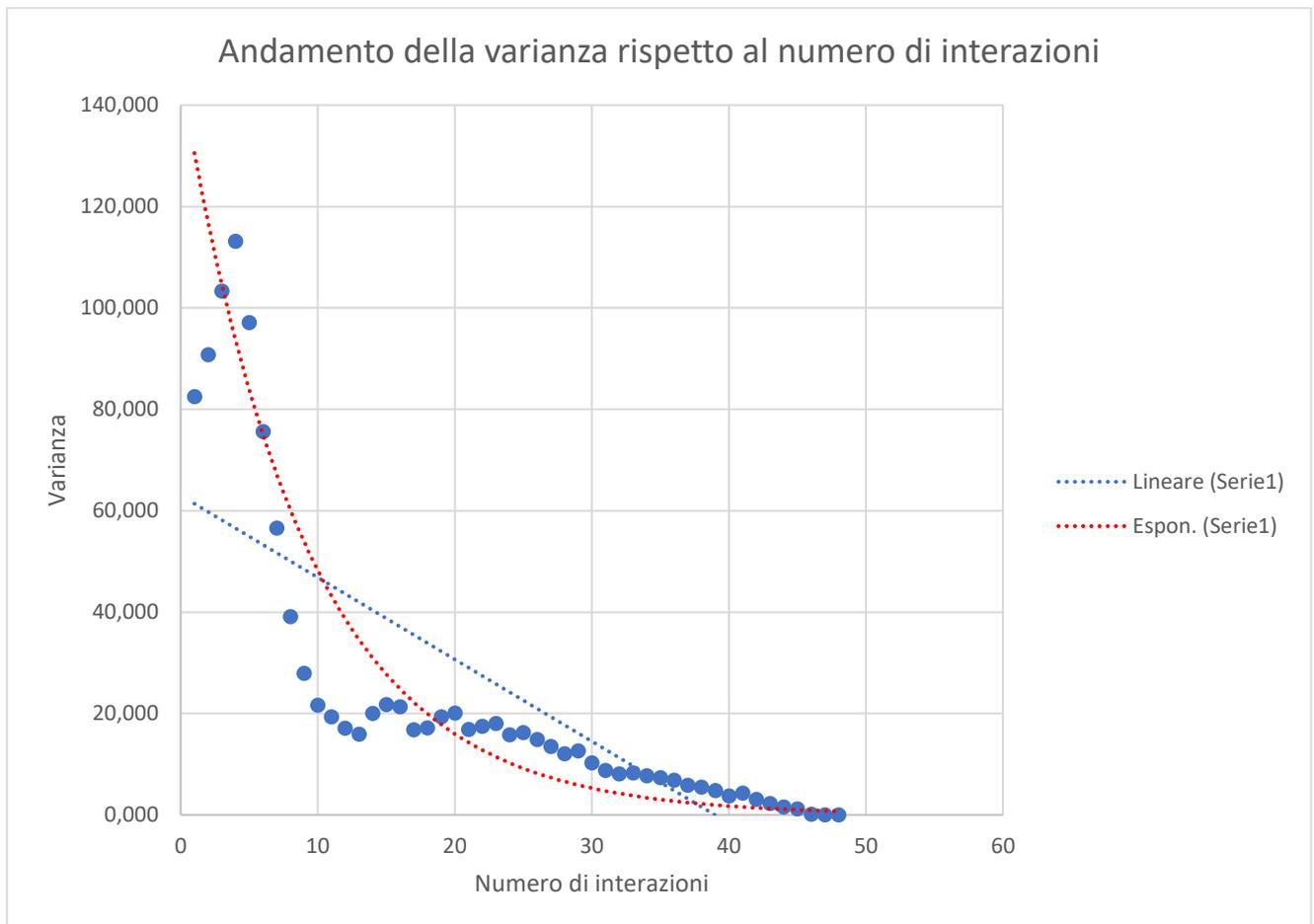


Figura 49: grafico recante l'andamento della varianza delle medie di interazione rispetto al numero di interazioni

Ancora una volta, l'andamento più fedele è quello esponenziale, con una funzione interpolante definita come:

$$y = 145.814 * 0.895^x$$

Si osserva come, all'aumentare del numero di interazioni:

- il tempo cumulativo medio diminuisce;
- la varianza diminuisce.

3.2.3. STUDIO DELLA MASSIMA INTERAZIONE CONTINUATIVA TRA LE COPPIE E DELLE INTERAZIONI DEGLI UTENTI

A questo punto si osserva la massima interazione continuativa tra tutte le coppie che si formano tra gli agenti durante l'interazione. Si riscontra come la massima durata d'interazione sia di 20,5 secondi. Tale soglia è trascurabile rispetto alla soglia critica, infatti si osserva come non si riscontrino interazioni critiche tra le coppie.

Si studiano quindi le interazioni complessive di ciascun utente. Si osserva un'interazione massima di 20,5 secondi (come nel caso precedente) e un'interazione minima di 0,025 secondi, molto

probabilmente in corrispondenza degli ingressi nell'ambiente di simulazione. Si osserva inoltre che tutti questi dati sono inferiori alla soglia temporale fissata come critica. Questo porta ai due grafici seguenti:

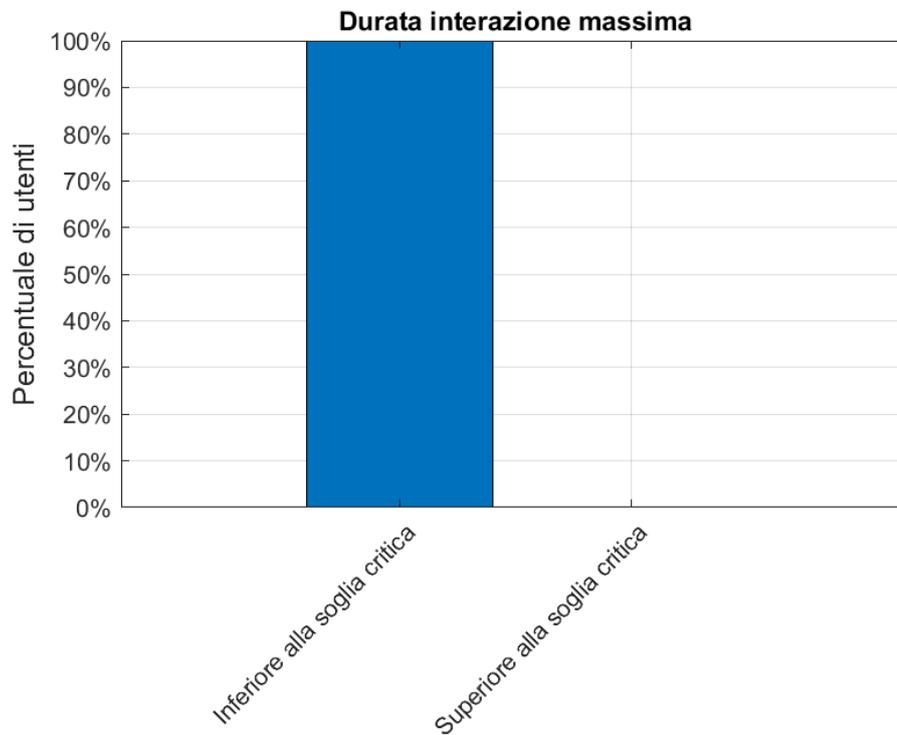


Figura 50: grafico distribuzione di frequenza delle esposizioni massime

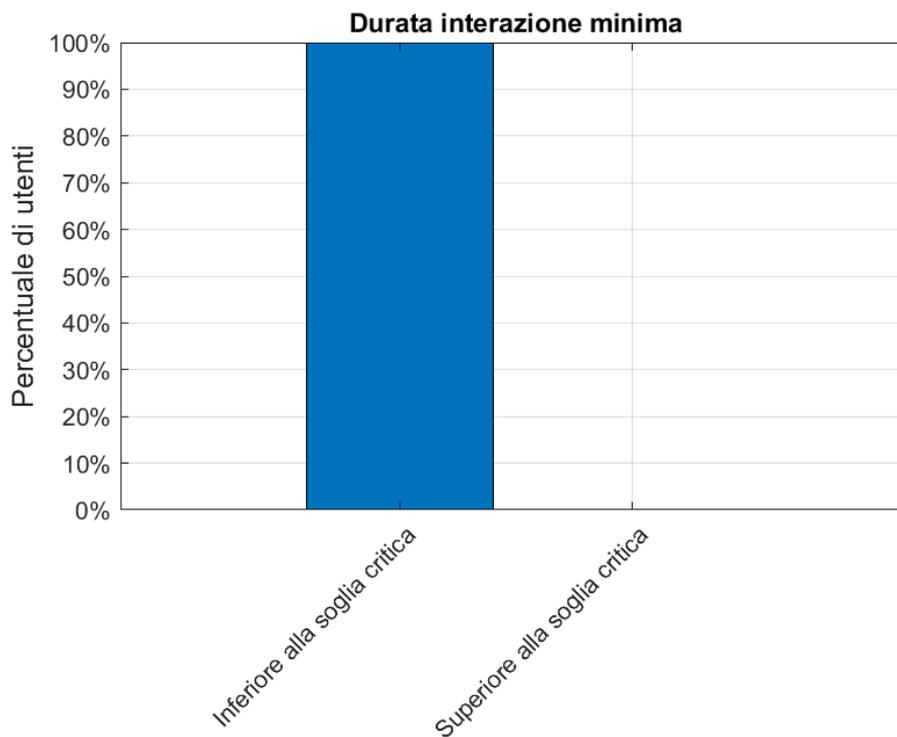


Figura 51: grafico distribuzione di frequenza delle esposizioni massime

3.2.4. STUDIO DEL NUMERO DI ESPOSIZIONI PER CIASCUN UTENTE

A questo punto si studia il numero di esposizioni per ciascun utente durante tutta la simulazione. Nel caso in esame, si osserva un minimo di 8 interazioni, corrispondente agli agenti identificati come 40 e 69, e un massimo di 603 interazioni, associate all'agente 802. Si riscontra che:

- Il 96,06% degli utenti ha più di 50 interazioni;
- l'86,83% degli utenti ha più di 100 interazioni;
- il 70,55% degli utenti ha più di 150 interazioni;
- il 52,64% degli utenti ha più di 200 interazioni;
- il 36,20% degli utenti ha più di 250 interazioni;
- il 22,93% degli utenti ha più di 300 interazioni;
- il 13,74% degli utenti ha più di 350 interazioni;
- il 6,75% degli utenti ha più di 400 interazioni;

La percentuale di utenti con interazioni superiori a 450 è già trascurabile. Il grafico seguente riporta una distribuzione di frequenza più dettagliata:

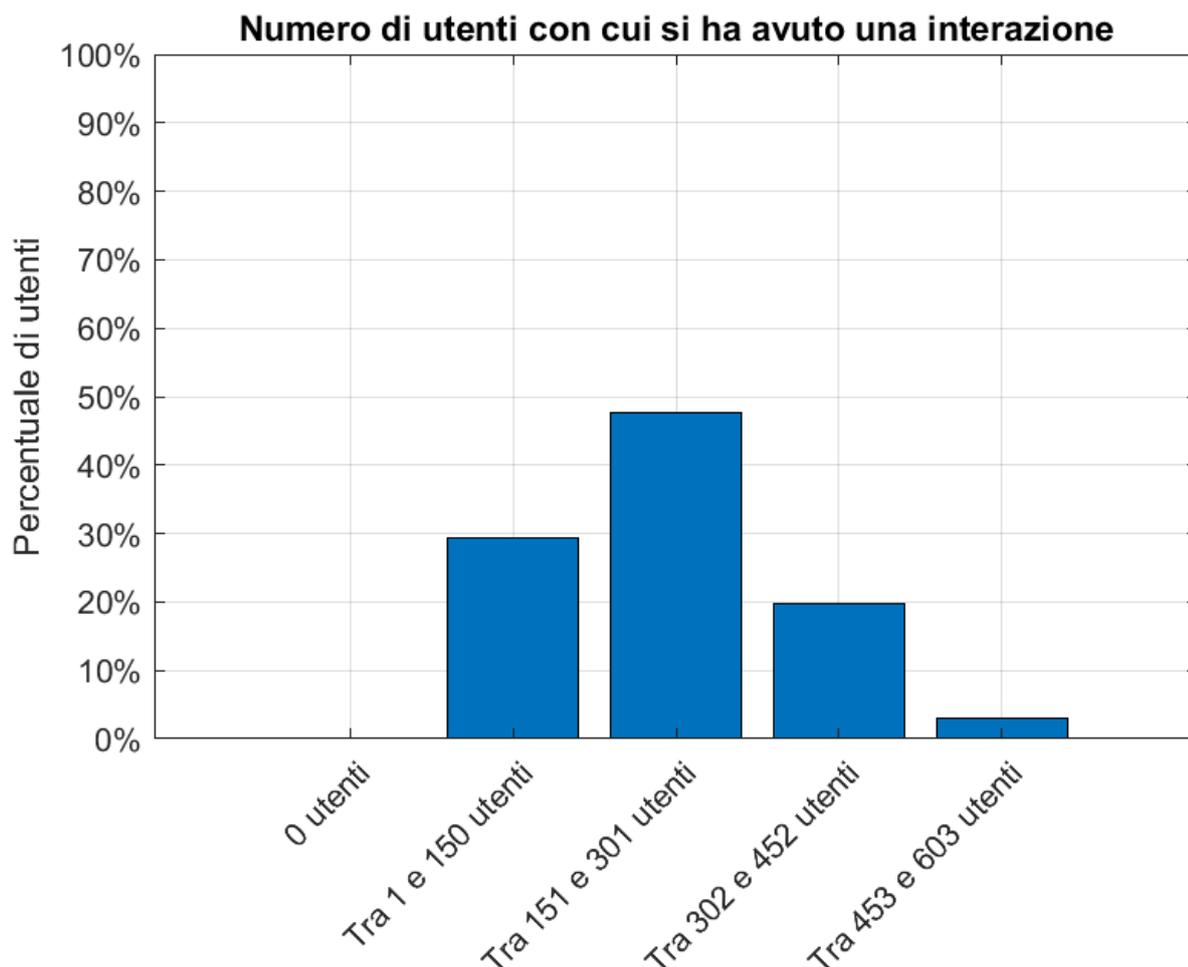


Figura 52: grafico della distribuzione di frequenza del numero totale di interazioni

3.2.5. STUDIO DEI TEMPI DI ESPOSIZIONE CUMULATI

Si giunge all'ultimo stadio di questa trattazione, ossia l'esame dei tempi di esposizione cumulati (quindi cade il vincolo dell'interazione *continuativa*) per ciascun utente.

Si osserva come il tempo cumulato di esposizione massimo sia pari a 2339,5 secondi, mentre il tempo cumulato di esposizione minimo sia pari a 16 secondi. Osservando con maggior dettaglio i dati, si nota come il 36,46% degli utenti presenti un tempo cumulato di esposizione superiore alla soglia critica. Ciò non significa necessariamente essere in presenza di situazioni critiche, in quanto si è precedentemente osservato come non vi siano singole interazioni critiche, ma indica comunque come vi sia un elevato numero di interazioni tra gli agenti.

Anche in questo caso è disponibile una distribuzione di frequenza:

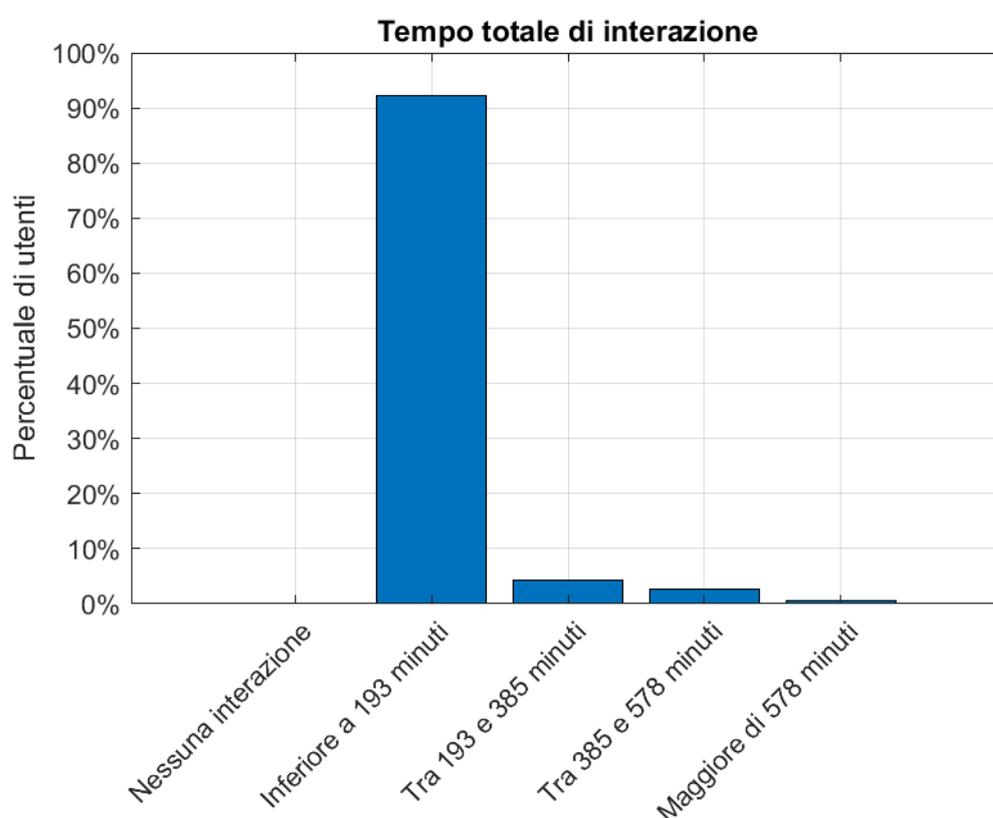


Figura 53: grafico della distribuzione di frequenza dei tempi di esposizione cumulati

3.2.6. CONSIDERAZIONI FINALI

Le considerazioni che si possono fare sulla scorta di questi dati sono le seguenti:

- il rischio di contagio dovuto ad una singola interazione è molto basso, in quanto le interazioni tra i membri sono tutte di brevissima durata, inferiore anche ai 30 secondi;
- il numero di interazioni per utente è molto elevato in quasi la totalità dei casi.

Questa situazione genera un interrogativo: sebbene delle interazioni brevi siano considerate, sia dai provvedimenti amministrativi, sia dai comitati tecnici, come foriere di rischi molto bassi, si osserva dall'altro lato che vi è un numero di iterazioni molto elevato. È noto dal calcolo delle probabilità che all'aumentare delle prove è più facile che un generico evento si verifichi: si assuma una probabilità

dell'evento (in questa supposizione si intenderebbe come probabilità di **non** contagio) pari a x (in termini assoluti, ossia con un valore compreso tra zero e uno) e si considera n come il numero di interazioni, si ottiene che la probabilità complessiva di accadimento (quindi di non essere contagiati, in questo caso) è pari a:

$$p = x^n$$

Considerando differenti valori di x e un numero di prove crescente fino ad arrivare al numero massimo di interazioni riscontrate, si ottengono differenti valori di probabilità p riassunti nella seguente tabella a doppia entrata:

x	n							
	50	100	150	200	250	300	350	400
100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
99.90%	95.12%	90.48%	86.06%	81.86%	77.87%	74.07%	70.46%	67.02%
99.80%	90.47%	81.86%	74.06%	67.01%	60.62%	54.85%	49.62%	44.90%
99.70%	86.05%	74.05%	63.72%	54.83%	47.18%	40.60%	34.94%	30.07%
99.60%	81.84%	66.98%	54.82%	44.86%	36.71%	30.05%	24.59%	20.12%
99.50%	77.83%	60.58%	47.15%	36.70%	28.56%	22.23%	17.30%	13.47%
99.40%	74.01%	54.78%	40.55%	30.01%	22.21%	16.44%	12.17%	9.01%
99.30%	70.38%	49.54%	34.86%	24.54%	17.27%	12.16%	8.56%	6.02%
99.20%	66.92%	44.79%	29.97%	20.06%	13.43%	8.98%	6.01%	4.02%
99.10%	63.63%	40.49%	25.77%	16.40%	10.43%	6.64%	4.22%	2.69%
99.00%	60.50%	36.60%	22.15%	13.40%	8.11%	4.90%	2.97%	1.80%
98.00%	36.42%	13.26%	4.83%	1.76%	0.64%	0.23%	0.08%	0.03%
97.00%	21.81%	4.76%	1.04%	0.23%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%

Tabella 2: illustrazione dell'ipotesi riguardante la probabilità di contagio a causa di ripetute interazioni

Osservando gli andamenti al variare di x e di n , si riscontra come il valore di probabilità p calcolato sia decrescente per x decrescenti ed n crescenti. Si solleva così la seguente riserva, che dovrà essere sciolta mediante altri studi: potrebbe un numero di interazioni per utente così elevato rappresentare un rischio di contagio dal quale guardarsi anche se la singola interazione viene considerata come "a basso rischio"?

3.4. DISTANZIAMENTO RAFFORZATO

Effettuata un'analisi dello scenario secondo i criteri dell'applicazione Immuni, si procede adesso ad applicare dei criteri di distanziamento più stringenti. Ciò fungerà da pretesto per mostrare come il programma funziona in maniera interattiva, permettendo di variare i parametri a piacimento e facendo osservare come la stessa simulazione, in questa maniera, possa generare dei risultati differenti. Dato che i criteri precedenti non hanno riscontrato interazioni critiche, si è deciso di modificare i parametri nella seguente maniera:

- distanziamento critico raddoppiato, quindi pari a quattro metri;
- soglia temporale critica dimezzata, quindi pari a sette minuti e mezzo;

Si esaminano quindi i risultati ottenuti.

3.4.1. ESAME DELLA MATRICE "E" E CONSIDERAZIONI

Come nel caso precedente, le prime considerazioni vengono mosse a partire dall'analisi della matrice E. Se ne ottiene che:

- il numero massimo di interazioni istantanee per utente riscontrate è pari a 116, e corrisponde all'agente con numero identificativo 383, agli istanti 3600 e 3600.03. 117 persone (incluso l'agente 383 nel computo) all'interno una circonferenza di raggio pari a quattro metri corrispondono ad una densità di:

$$\rho = \frac{117}{\pi * 4^2} pp/m^2 = \frac{117}{50,265} pp/m^2 = 2,33 pp/m^2$$

All'istante 3600 la situazione nel centro commerciale è la seguente:

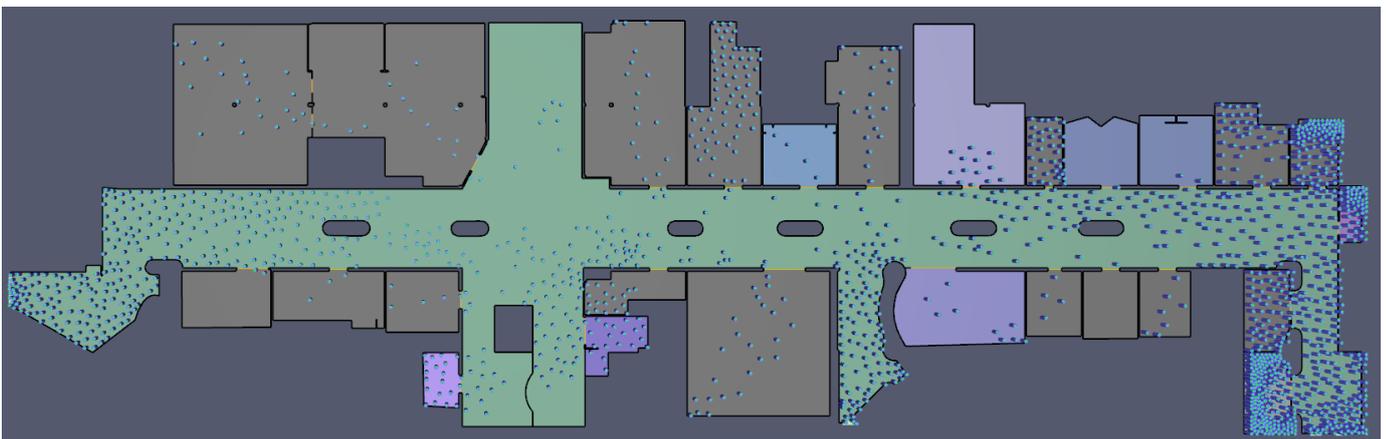


Figura 54: centro commerciale nell'istante 3600 s

Si nota come le situazioni critiche siano l'ingresso sulla sinistra, e la parte destra del centro stesso, con in particolare il negozio in basso (room 70) e l'uscita come ambienti critici.

Si aggiunge il grafico con le varie distribuzioni temporali:

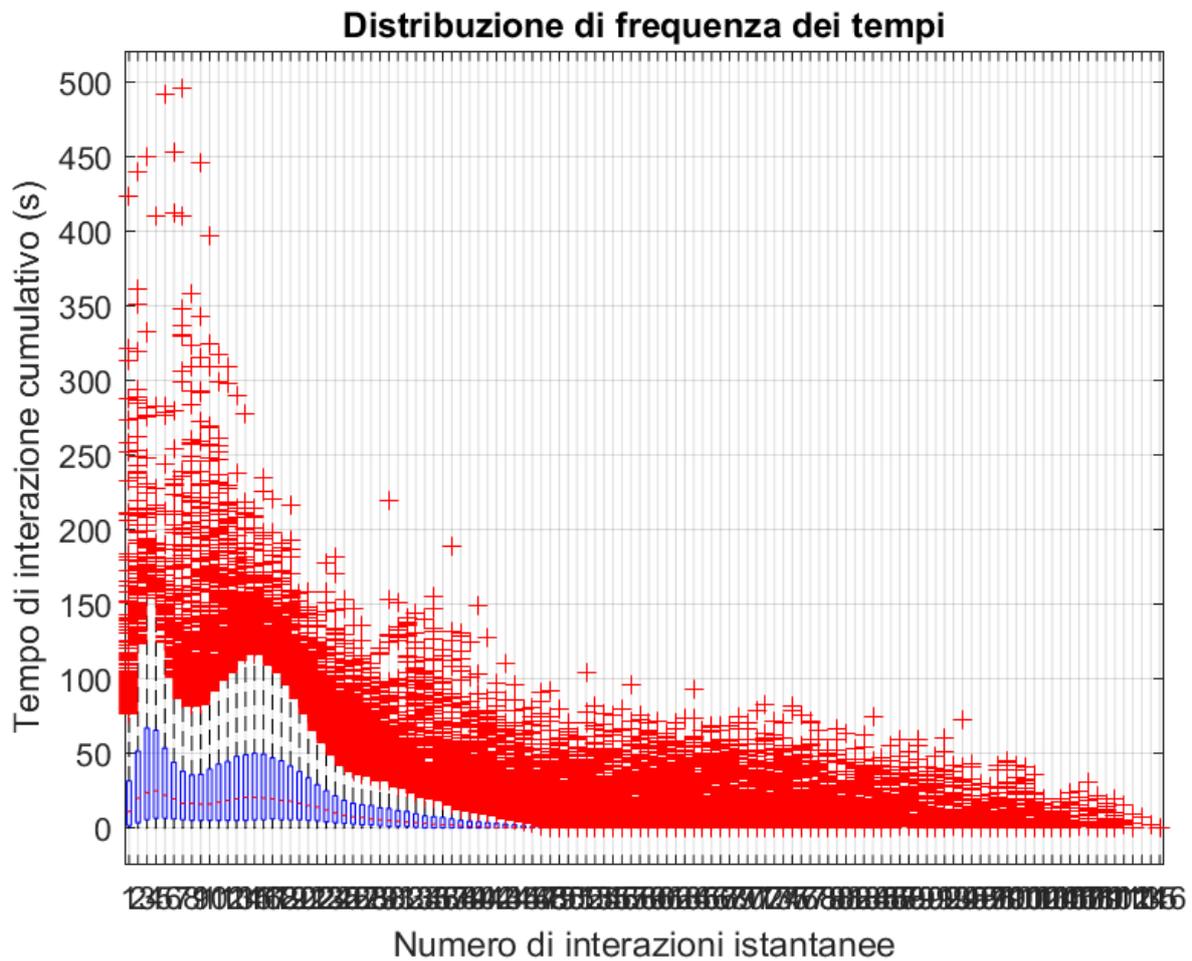


Figura 55: grafico con le distribuzioni temporali

Anche in questo caso, è interessante vedere se questi dati seguono una distribuzione normale o se, viceversa, è possibile ricostruire una tendenza. Si procede quindi, come nel caso precedente, con il test ANOVA.

3.4.2. TEST ANOVA SULLA DISTRIBUZIONE DEI TEMPI DI INTERAZIONE

Ricordando le formule scritte precedentemente (§ paragrafo TEST ANOVA SULLA DISTRIBUZIONE DEI TEMPI DI INTERAZIONE), si ottiene la seguente tabella:

SORGENTE DELLA VARIABILITÀ	SOMMA DEI QUADRATI	GRADI DI LIBERTÀ	STIMA DELLA VARIANZA	F	P	α
TRA GRUPPI	9.59E+07	1.47E+05	2.76E+02	1.49E+03	100.00%	0.00%
ENTRO GRUPPI	4.73E+07	48	4.12E+05			
TOTALE	1.43E+08	1.47E+05				

Tabella 3: risultati del test ANOVA

Anche in questo caso, di conseguenza, si rifiuta l'ipotesi di distribuzione normale. Diagrammando l'andamento delle medie con il numero di interazioni si ottiene il seguente grafico:

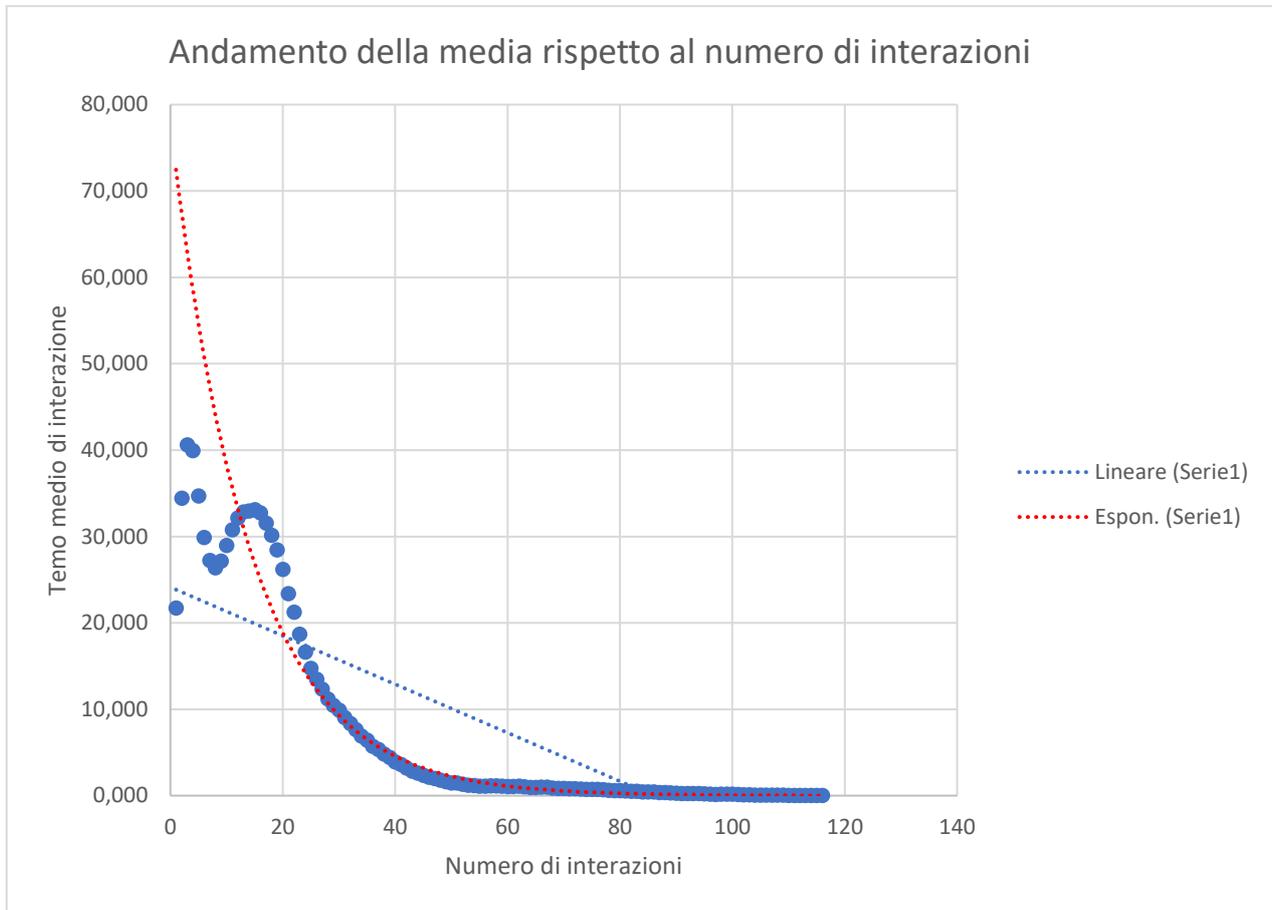


Figura 56: grafico con l'andamento della media rispetto al numero di interazioni

Anche in questo caso si osserva come la tendenza che meglio approssima il grafico sia una tendenza esponenziale, espressa dalla funzione calcolata tramite foglio di calcolo Excel:

$$y = 77.777 * 0.932^x$$

Per quanto riguarda la varianza, si ottiene invece il seguente andamento:

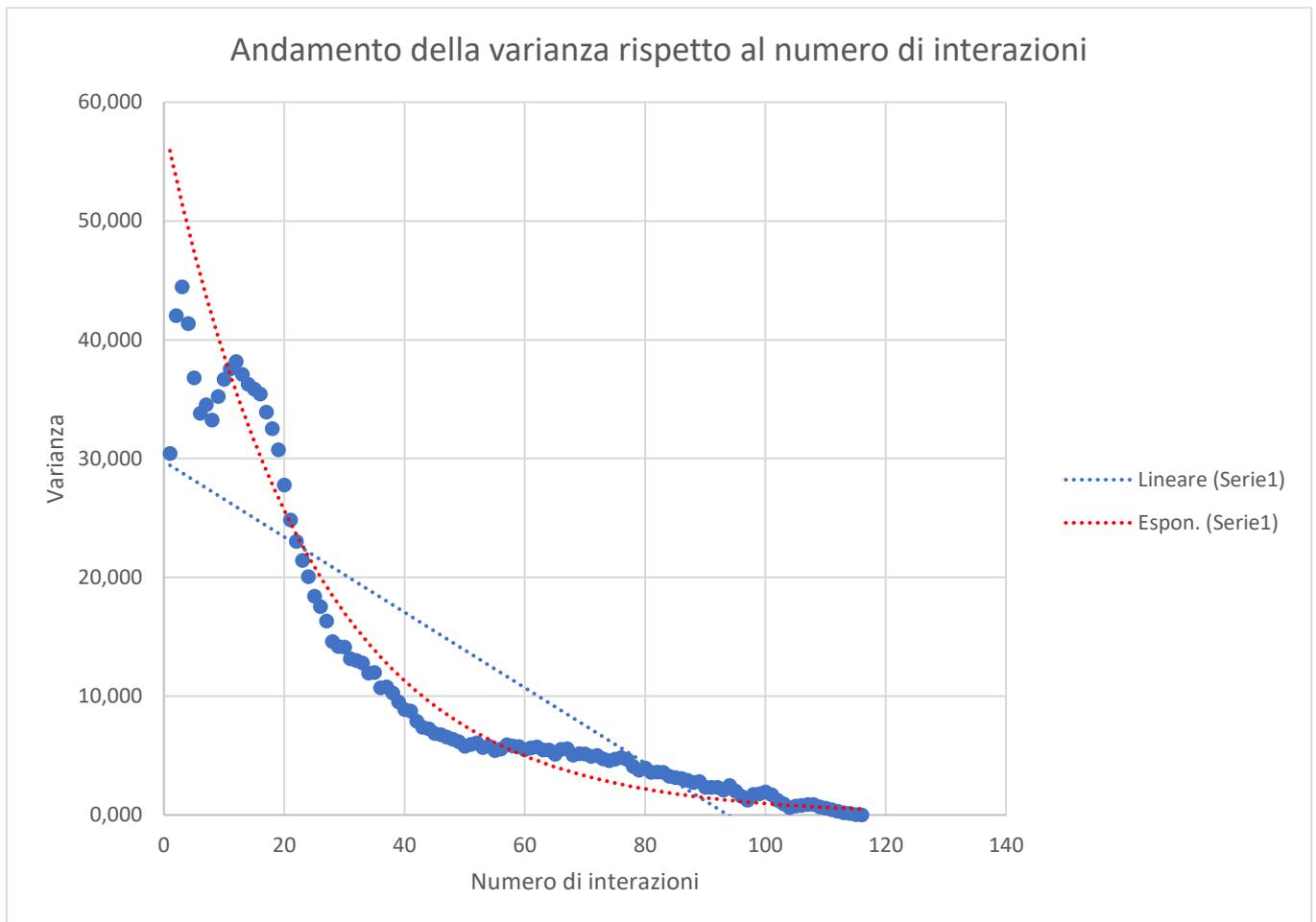


Figura 57: grafico con l'andamento della varianza rispetto al numero di interazioni

Ancora una volta, l'andamento più fedele è quello esponenziale, con una funzione interpolante definita come:

$$y = 145.814 * 0.895^x$$

Si osserva come, all'aumentare del numero di interazioni:

- il tempo cumulativo medio diminuisce;
- la varianza diminuisce.

3.4.3. STUDIO DELLA MASSIMA INTERAZIONE CONTINUATIVA TRA LE COPPIE E DELLE INTERAZIONI DEGLI UTENTI

A questo punto si osserva la massima interazione continuativa tra tutte le coppie che si formano tra gli agenti durante l'interazione. Si riscontra, in questo caso, come la massima durata d'interazione sia di 20,5 secondi. Tale soglia è trascurabile rispetto alla soglia critica, infatti si osserva come non si riscontrino interazioni critiche tra le coppie.

Si studiano quindi le interazioni complessive di ciascun utente, si osserva un'interazione massima di 20,5 secondi (come nel caso precedente) e un'interazione minima di 0,025 secondi, molto probabilmente in corrispondenza degli ingressi nell'ambiente di simulazione. Si osserva che tutti

questi dati sono inferiori alla soglia temporale fissata come critica. Questo porta ai due grafici seguenti:

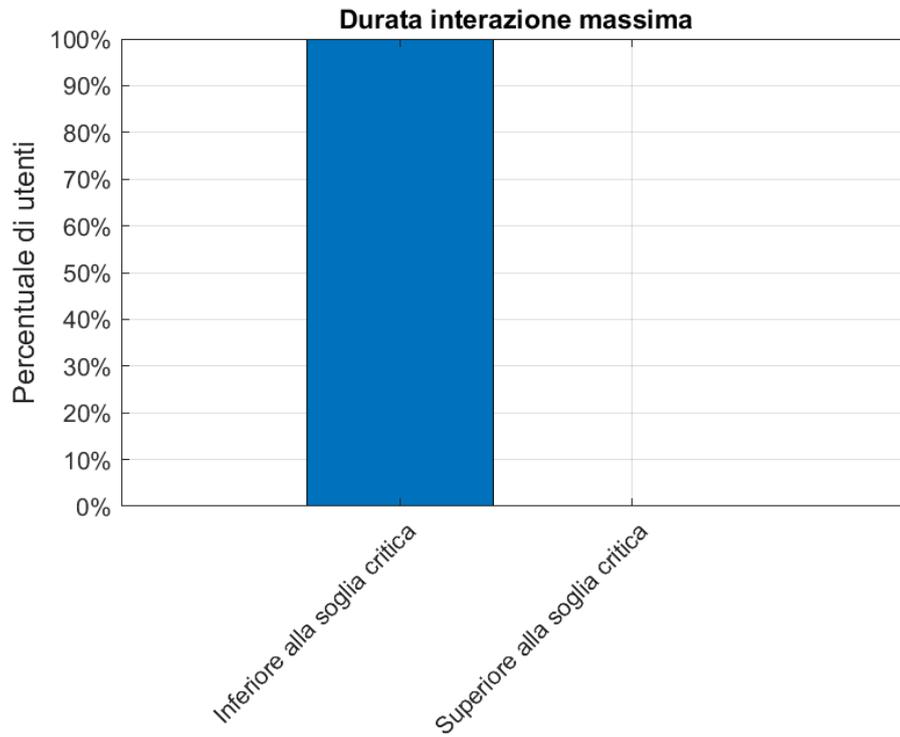


Figura 58: grafico distribuzione di frequenza delle esposizioni massime

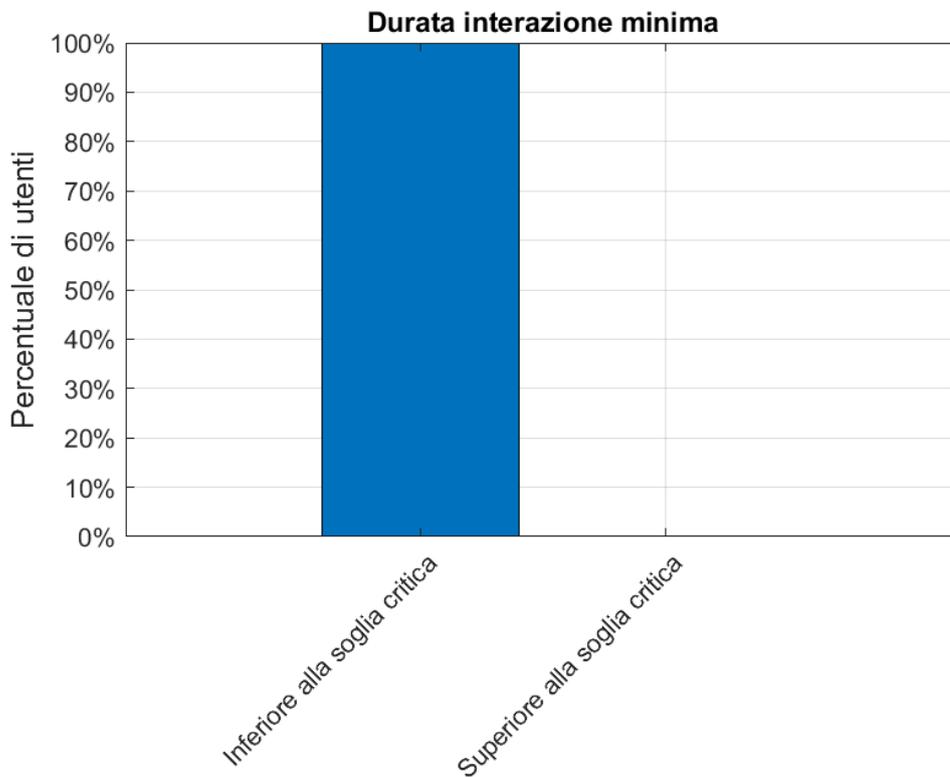


Figura 59: grafico distribuzione di frequenza delle esposizioni minime

3.4.4. STUDIO DEL NUMERO DI ESPOSIZIONI PER CIASCUN UTENTE

A questo punto si studia il numero di esposizioni per ciascun utente durante tutta la simulazione. Nel caso in esame, si osserva un minimo di 10 interazioni, corrispondente agli agenti identificati come 40 e 69, e un massimo di 1043 interazioni, associate all'agente 802. Si riscontra che:

- il 98,53% degli agenti ha più di 50 interazioni;
- il 93,65% degli agenti ha più di 100 interazioni;
- l'88,03% degli agenti ha più di 150 interazioni;
- l'80,38% degli agenti ha più di 200 interazioni;
- il 68,88% degli agenti ha più di 250 interazioni;
- il 58,02% degli agenti ha più di 300 interazioni;
- il 47,79% degli agenti ha più di 350 interazioni;
- il 37,67% degli agenti ha più di 400 interazioni;
- il 28,84% degli agenti ha più di 450 interazioni;
- il 21,89% degli agenti ha più di 500 interazioni;
- il 16,24% degli agenti ha più di 550 interazioni;
- il 11,83% degli agenti ha più di 600 interazioni;
- il 7,65% degli agenti ha più di 650 interazioni;

Le percentuali di agenti con interazioni superiori a 700 o più sono trascurabili. Il grafico seguente riporta una distribuzione di frequenza più dettagliata:

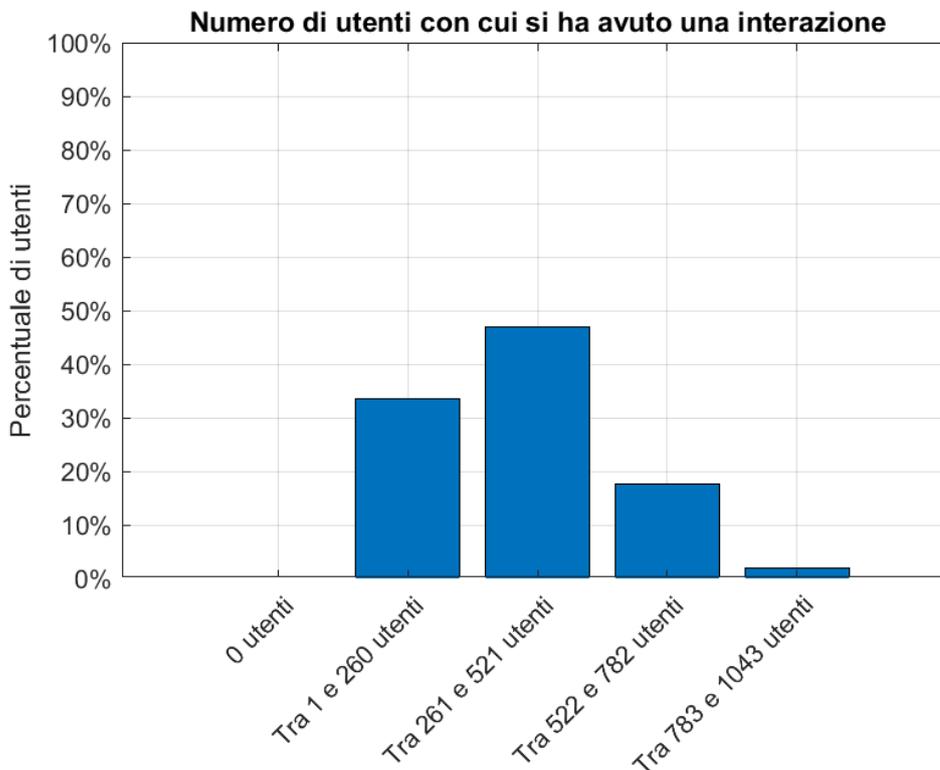


Figura 60: grafico della distribuzione di frequenza del numero totale di interazioni

3.4.5. STUDIO DEI TEMPI DI ESPOSIZIONE CUMULATI

Si giunge punto all'ultimo stadio di questa trattazione, ossia l'esame dei tempi di esposizione cumulati per ciascun utente.

Si osserva come il tempo cumulato di esposizione massimo sia pari a 5206,5 secondi, mentre il tempo cumulato di esposizione minimo sia pari a 31,7 secondi.

Osservando con maggior dettaglio i dati, si nota come il 93,15% degli utenti presenti un tempo cumulato di esposizione superiore alla soglia critica. Ciò, si ricorda, non significa necessariamente essere in presenza di situazioni critiche rispetto alla soglia prefissata, in quanto si è precedentemente osservato come non vi siano singole interazioni critiche, ma indica comunque come vi sia un elevato numero di interazioni tra gli agenti. In particolare, il 5,31% degli agenti riscontra un tempo cumulato superiore a quello di simulazione. Questo significa che vi è una quantità di agenti (seppur esigua) che è esposta ad un elevato numero di persone, spesso simultaneamente.

Anche in questo caso è disponibile una distribuzione di frequenza:

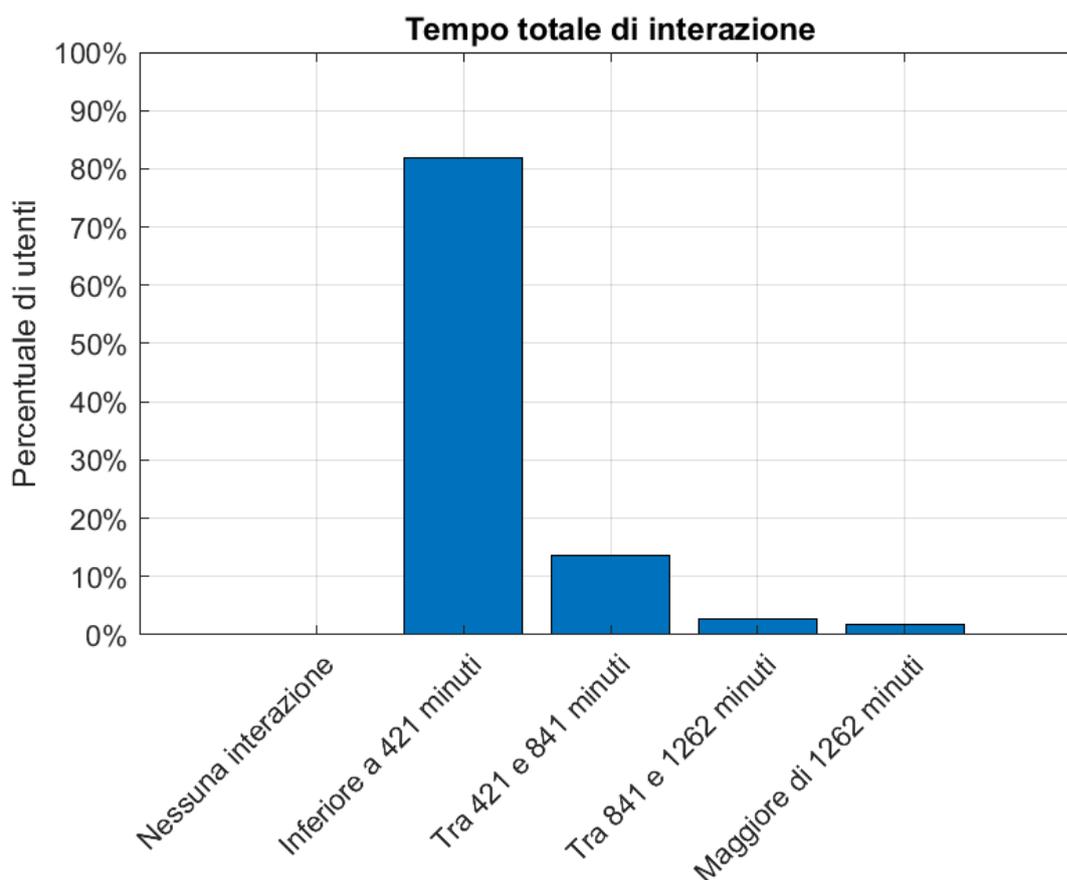


Figura 61: grafico della distribuzione di frequenza dei tempi di esposizione cumulati

3.4.6. CONSIDERAZIONI FINALI

Si possono fare, per questi risultati, le medesime considerazioni effettuate nell'analisi del caso precedente.

3.5. ALTRE CONSIDERAZIONI

È possibile, analizzando ulteriormente lo scenario del centro commerciale, verificare alcune ipotesi per introdurre delle considerazioni aggiuntive e degli spunti di riflessione e di approfondimento per trattazioni future.

3.5.1. ANDAMENTO DEL NUMERO MASSIMO DI INTERAZIONI IN FUNZIONE DEL NUMERO DI AGENTI DENTRO LA SIMULAZIONE

Una prima domanda a cui si può rispondere è la seguente: il numero massimo di interazioni istantanee che viene riscontrato dipende dal numero di agenti all'interno della simulazione? Per rispondere a tale domanda si è proceduto con un insieme di prove sullo stesso scenario e con gli stessi parametri di libera impostazione:

- scenario del centro commerciale, come da caso studio;
- distanziamento previsto pari a 2 metri;
- soglia temporale critica pari a 15 minuti.

Le prove sono state effettuate variando progressivamente il numero di agenti nella simulazione. Ciò è stato possibile variando, in ambiente Pathfinder, il rateo di persone generate dalle varie sorgenti di occupanti all'interno della simulazione. Si sono ottenute delle simulazioni con i seguenti numeri di utenti:

1. 2992 utenti (ossia il caso esaminato precedentemente);
2. 2864 utenti;
3. 2629 utenti;
4. 2406 utenti;
5. 2200 utenti;
6. 1910 utenti;
7. 1498 utenti;
8. 1048 utenti.

Per ciascuna di queste simulazioni si è costruita la matrice E, e si è ricercato per ogni riga il massimo valore. Si ottiene così un vettore di numeri massimi d'interazione istantanea riscontrati, uno per ciascun agente. Tale operazione viene ripetuta per ciascuna simulazione, ottenendo dei gruppi di dati che sono ovviamente di dimensione differente gli uni dagli altri:

	GRUPPO 1	GRUPPO 2	GRUPPO 3	GRUPPO 4	GRUPPO 5	GRUPPO 6	GRUPPO 7	GRUPPO 8
MASSIMO	48	39	26	22	22	16	15	11
MEDIA	17.33	15.03	13.65	12.27	11.25	9.97	8.45	6.38
DEV. STD.	5.75	4.06	3.32	3.17	2.90	2.28	1.99	1.65
VARIANZA	33.08	16.50	11.02	10.04	8.41	5.18	3.95	2.71
DIMENSIONE	2992	2864	2629	2406	2200	1910	1498	1048

Tabella 4: sintesi dei dati ottenuti. Ciascun gruppo corrisponde ad una simulazione col dato numero di utenti

Per assicurarsi che i dati mostrino una tendenza, viene condotto un test ANOVA, che reca i seguenti risultati:

	SS	GDL	VARIANZA	F	P	α
TRA GRUPPI	2.36E+05	1.75E+04	1.35E+01	1.81E+03	100.00%	0.00%
ENTRO I GRUPPI	1.70E+05	7	2.43E+04			
TOTALE	4.07E+05	1.75E+04				

Tabella 5: risultato del test ANOVA

Si vede quindi che si può rifiutare tranquillamente l'ipotesi nulla sui dati ottenuti con questa procedura. Si procede quindi ad analizzare l'andamento dei numeri massimi in relazione al numero di agenti:

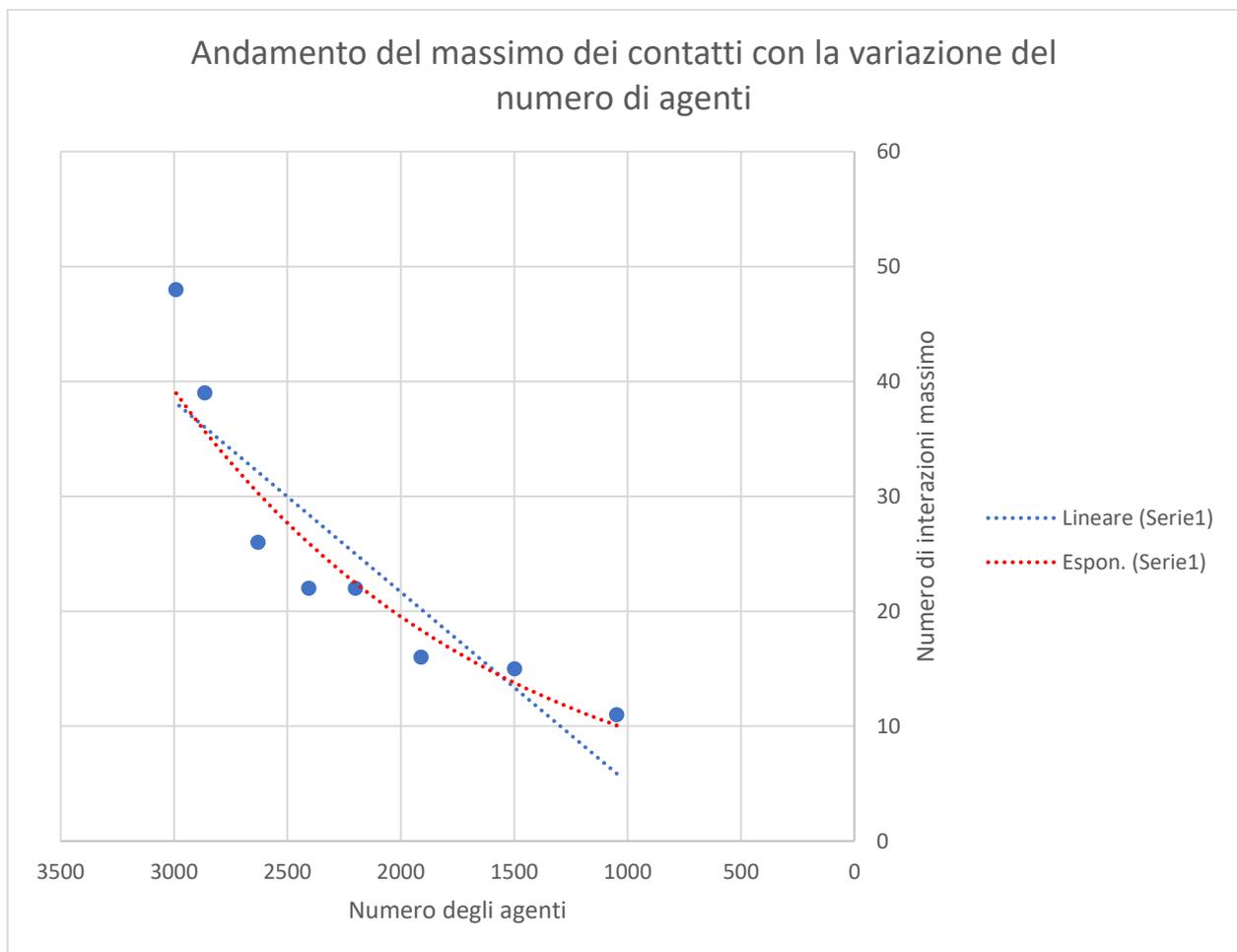


Figura 62: grafico che riporta l'andamento del massimo dei contatti con la variazione del numero di agenti

Si osserva come vi sia una chiara tendenza, evidenziata dalle regressioni lineare ed esponenziale:

$$y = 0.017x - 11.523$$

$$y = 4.841 * 1.001^x$$

3.5.2. ANDAMENTO DEL NUMERO MEDIO DI INTERAZIONI IN FUNZIONE DEL NUMERO DI AGENTI DENTRO LA SIMULAZIONE

Si vuole, a questo punto, osservare se anche la media registra una tendenza simile a quella appena riscontrata:

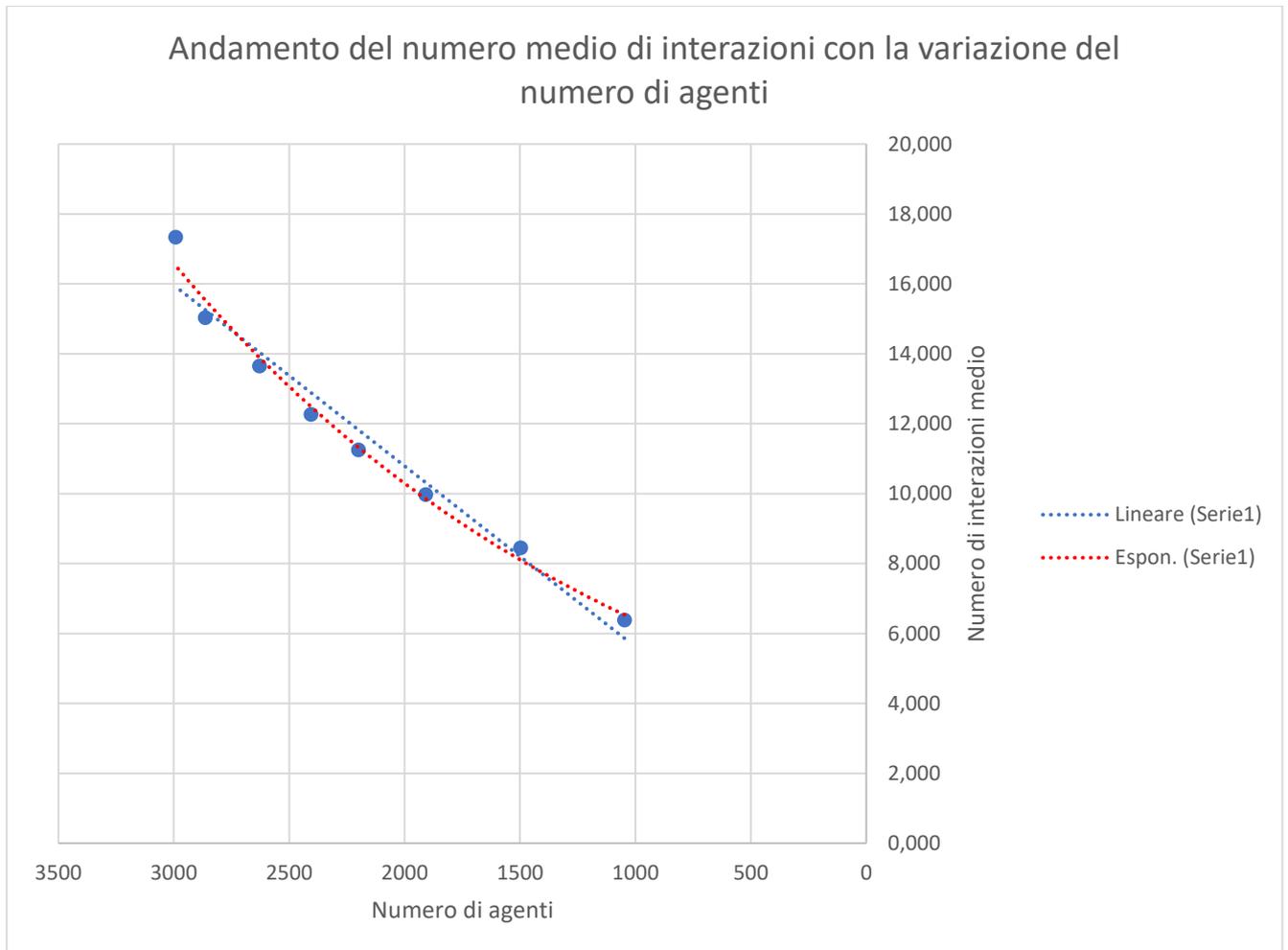


Figura 63: grafico che riporta l’andamento del numero medio dei contatti con la variazione del numero di agenti

Il grafico mostra come una tendenza sia riscontrabile anche in questo caso. Le equazioni delle regressioni lineare ed esponenziale sono rispettivamente:

$$y = 0.005x + 0.446$$

$$y = 3.966^x$$

3.5.3. ANDAMENTO DEI TEMPI MEDI ASSOCIATI A NUMERI DI INTERAZIONI ISTANTANEE

Esaminato il numero massimo di interazioni istantanee, un altro aspetto interessante da verificare è se il tempo medio associato a un dato quantitativo di interazioni istantanee è funzione del numero di agenti all’interno della simulazione o è funzione del parametro di distanziamento indicato. Si procede allo scopo con un’analisi dei dati. La procedura di ottenimento degli stessi è la seguente:

- per ragioni di tempistiche di calcolo, si utilizza il caso di simulazione del centro commerciale con 1048 agenti;
- si scelgono parametri di distanziamento crescenti: 1, 2, 3 e così via fino ad arrivare ad un massimo di 10 metri;
- si riporta per ciascun numero di interazioni istantanee la media.

Si ottengono, come visto in precedenza, dei gruppi di dati di dimensione eterogenea, riassunti nella seguente tabella:

DISTANZA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MEDIA	13.12	36.34	34.93	29.83	29.31	27.31	25.46	24.69	24.82	23.98
DEV STD	19.25	48.89	44.18	33.46	27.19	23.63	21.47	20.01	18.79	18.20
DIMENSIONE	5	11	16	20	21	23	25	26	26	27

Tabella 6: sintesi dei dati

Si osserva che le medie in tabella sono le medie dei tempi medi associati, per ogni gruppo, ai numeri di interazione istantanee. Si procede, a questo punto, con l'analisi ANOVA per capire se è effettivamente possibile individuare un andamento:

	SS	GDL	VARIANZA	F	P	α
TRA GRUPPI	1.42E+05	1.90E+02	7.45E+02	5.61E-01	17.26%	82.74%
ENTRO I GRUPPI	3.76E+03	9	4.18E+02			
TOTALE	1.45E+05	1.99E+02				

Tabella 7: risultati del test ANOVA

I risultati mostrano come non vi siano ragioni sufficienti per rifiutare l'ipotesi nulla (la significatività è troppo elevata): si deve quindi tenere conto dell'eventualità che i tempi medi associati ad un determinato numero di interazioni istantanee siano caratterizzati da aleatorietà. Si è comunque cercato di studiare l'andamento per mezzo di rappresentazioni grafiche (Figura 64 e Figura 65): si può osservare che le regressioni lineari mostrano che le medie hanno una tendenza verso valori decrescenti per distanziamento crescente e numeri di interazioni istantanee bassi e verso valori crescenti per distanziamento crescente e numeri di interazioni alte. Ciò è sicuramente dovuto al fatto che esiste una correlazione tra il numero di interazioni istantanee e il parametro di distanziamento sociale letto dal programma (§ paragrafo ANDAMENTO DEL NUMERO DI INTERAZIONI ISTANTANEE RISPETTO AL PARAMETRO DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE). Osservando però soltanto i punti delle varie serie di dati, si può notare come effettivamente non possa essere definita una tendenza reale, trovando quindi riscontro con ciò che è stato precedentemente detto dal test ANOVA.

Si è, inoltre, voluto verificare se esistesse una correlazione tra le medie di ciascun gruppo di dati così ottenuto e il parametro di distanziamento. I risultati grafici sono di seguito riportati:

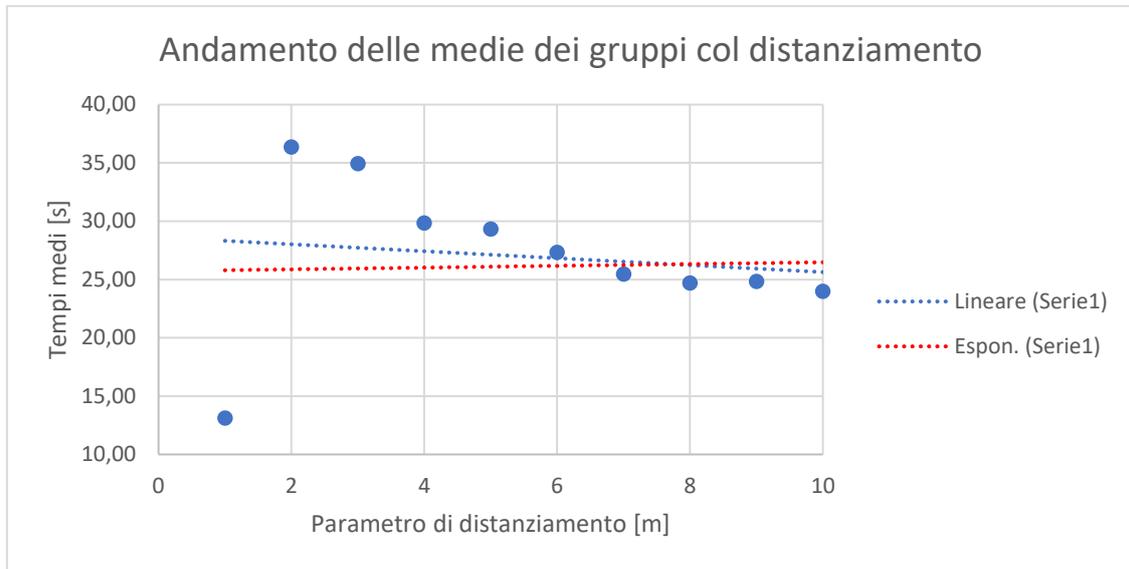


Figura 64: grafico che riporta l'andamento dei tempi medi in funzione del parametro di distanziamento inserito

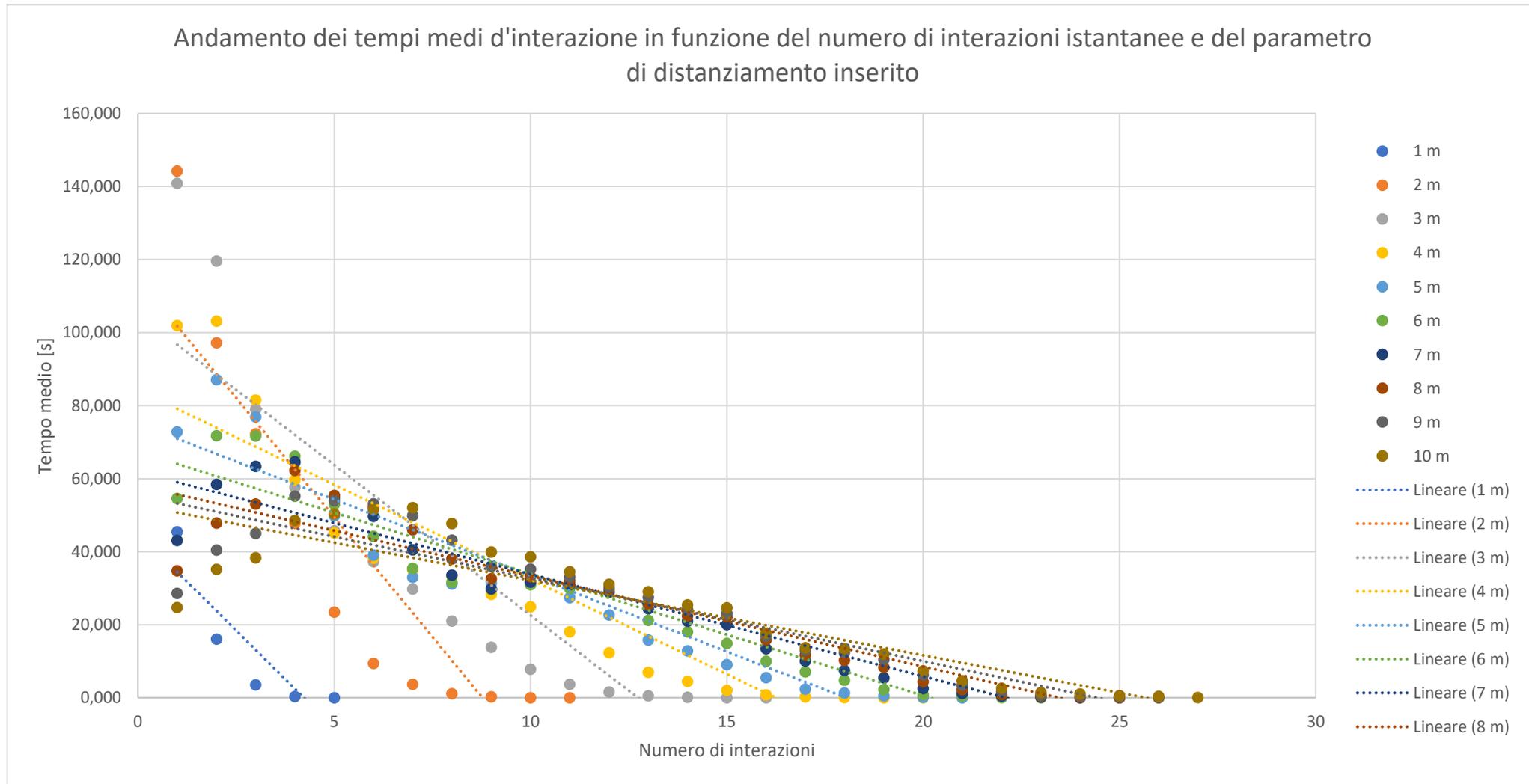


Figura 65: grafico che riporta l'andamento dei tempi medi in funzione del parametro di distanziamento inserito

È possibile notare come sia la regressione lineare, sia la regressione esponenziale (Figura 64) abbiano delle pendenze molto basse. Ciò suggerisce una correlazione molto debole, ulteriormente indebolita dall'osservazione dell'andamento dei punti effettivi. Si propende per escludere una correlazione e confermare l'aleatorietà di questi dati suggerita dal test ANOVA.

3.5.4. ANDAMENTO DEL NUMERO DI INTERAZIONI ISTANTANEE RISPETTO AL PARAMETRO DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE

Come anticipato precedentemente, è possibile definire una correlazione tra il numero di interazioni e il parametro di distanziamento sociale che viene inserito all'interno del programma durante l'esecuzione. Si è proceduto raccogliendo i dati secondo gli stessi criteri del punto precedente, con la differenza che al posto delle medie temporali si sono annotati i numeri di interazioni istantanee. I dati sono riassunti dalla seguente tabella:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MEDIA	3.00	6.00	8.50	10.50	11.00	12.00	13.00	13.50	13.50	14.00
DEV STD	1.58	3.32	4.76	5.92	6.20	6.78	7.36	7.65	7.65	7.94
DIMENSIONE	5	11	16	20	21	23	25	26	26	27

Tabella 8: sintesi dei dati

Si è condotto il test ANOVA per verificare se è possibile indagare su particolari tendenze. I risultati sono i seguenti:

	SS	GDL	VARIANZA	F	P	α
TRA GRUPPI	8.77E+03	1.90E+02	4.62E+01	3.12E+00	99.84%	0.16%
ENTRO I GRUPPI	1.29E+03	9	1.44E+02			
TOTALE	1.01E+04	1.99E+02				

Tabella 9: risultati del test ANOVA

È possibile, quindi, rifiutare l'ipotesi di distribuzione normale con un margine di errore pressoché nullo.

Si procede quindi a studiare l'andamento dei numeri di interazioni istantanee massimi in funzione del parametro di distanziamento sociale impostato:

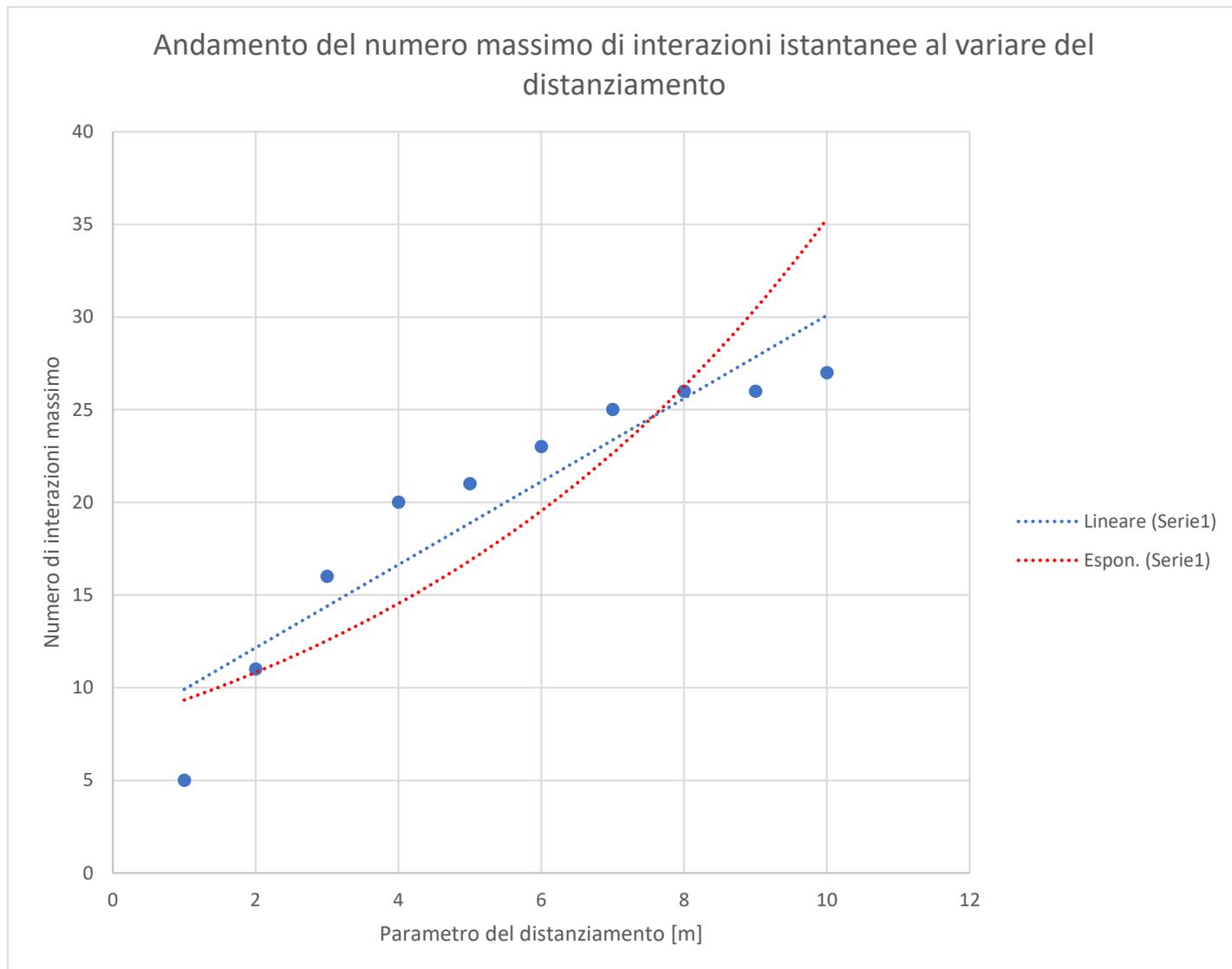


Figura 66: grafico che riporta l'andamento del numero massimo di interazioni al variare del distanziamento

Si osserva, per quanto riguarda i massimi, una netta tendenza crescente, indicata dalle due regressioni lineare ed esponenziale:

$$y = 2.242x + 7.667$$

$$y = 1.159 * 8.051^x$$

Si cercano quindi delle conferme esaminando anche i numeri di interazioni medi in funzione del distanziamento:

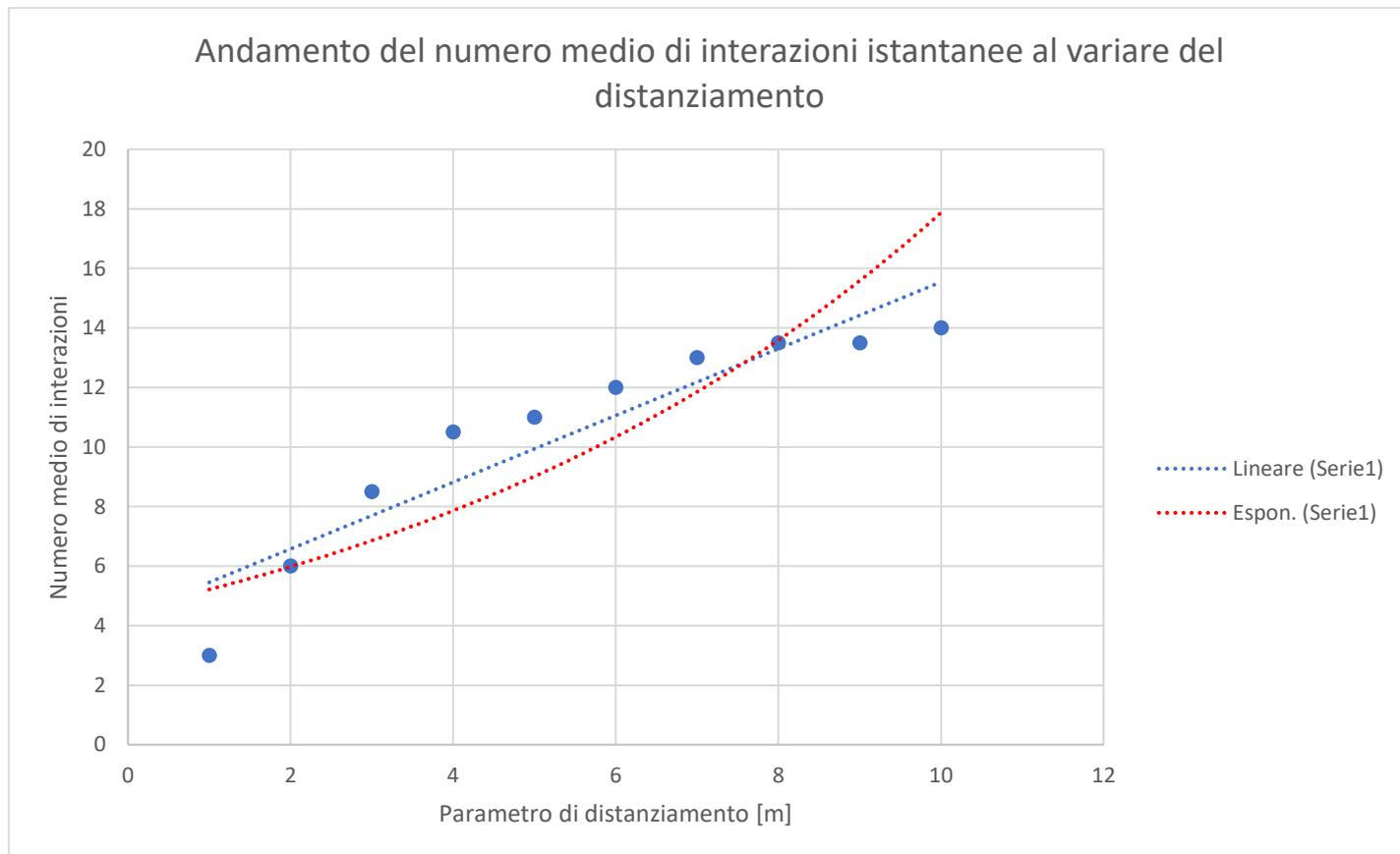


Figura 67: grafico che riporta l'andamento del numero medio di interazioni al variare del distanziamento

Si osserva come anche in questo caso vi siano delle tendenze nette, espresse dalle regressioni:

$$y = 1.121x + 4.333$$

$$y = 1.147 * 4.548^x$$

Queste rilevazioni orientano quindi verso una risposta affermativa riguardo al quesito posto in essere in questo punto.

3.5.5. ANDAMENTO DEL NUMERO DI INTERAZIONI PRO-CAPITE RISPETTO AL PARAMETRO DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE

Si indaga, a questo punto, se è possibile stabilire una correlazione tra il numero di interazioni pro capite e il parametro di distanziamento sociale. Si raccolgono i dati nella seguente maniera:

- per ragioni di tempistiche di calcolo, si utilizza il caso di simulazione del centro commerciale con 1048 agenti;
- si scelgono parametri di distanziamento crescenti: 1, 2, 3 e così via fino ad arrivare ad un massimo di 10 metri;
- si riporta per ciascun caso il numero di interazioni pro capite.

Si ottengono così dei gruppi di dati, riassunti dalla seguente tabella:

DISTANZA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MASSIMO	95	168	197	230	243	257	272	291	300	313
MEDIA	16.79	51.05	64.29	72.89	78.52	83.18	87.42	91.08	94.38	97.12
DEV. STD.	14.67	29.67	36.32	41.19	44.72	47.51	50.13	52.36	54.59	56.39
DIMENSIONE	1048	1048	1048	1048	1048	1048	1048	1048	1048	1048

Tabella 10: sintesi dei dati

Per verificare se è possibile stabilire una correlazione, si procede con il test ANOVA, che porta i seguenti risultati:

	SS	GDL	VARIANZA	F	P	α
TRA GRUPPI	2.07E+07	10470	1.98E+03	3.19E+02	100.00%	0.00%
ENTRO GRUPPI	5.68E+06	9	6.31E+05			
TOTALE	2.64E+07	10479				

Tabella 11: risultati del test ANOVA

Come si evince osservando la tabella, si può rifiutare l'ipotesi nulla con un margine di errore nullo e si può, invece, assumere una tendenza dei dati stessi. Si riporta in seguito l'andamento dei massimi numeri di interazione in funzione del parametro di distanziamento sociale che viene indicato al programma:

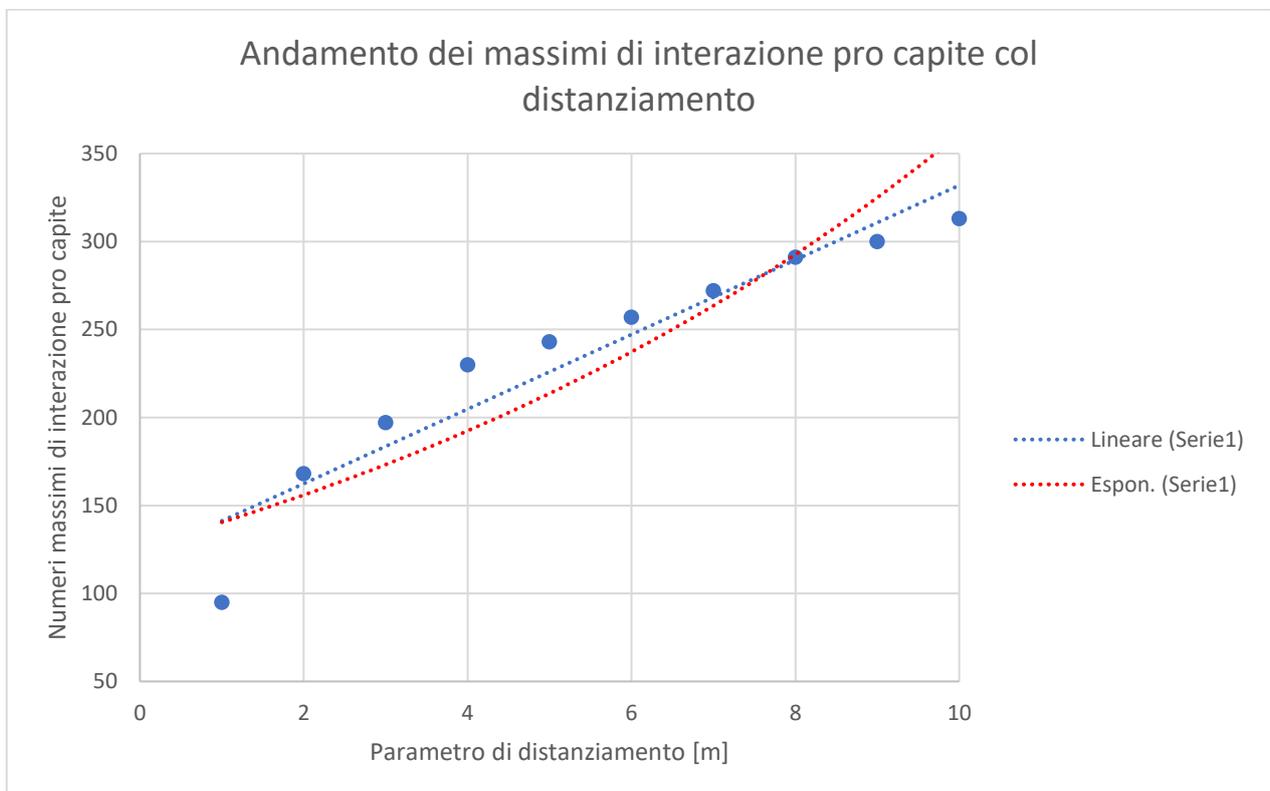


Figura 68: andamento dei massimi di interazione col distanziamento

Si osserva come vi sia un andamento ben definito, esprimibile tramite le regressioni lineare ed esponenziale seguenti:

$$y = 21.19x + 120.07$$

$$y = 126.52 * 1.11^x$$

Si riporta, inoltre, l'andamento del numero di interazioni medie in funzione del distanziamento indicato:

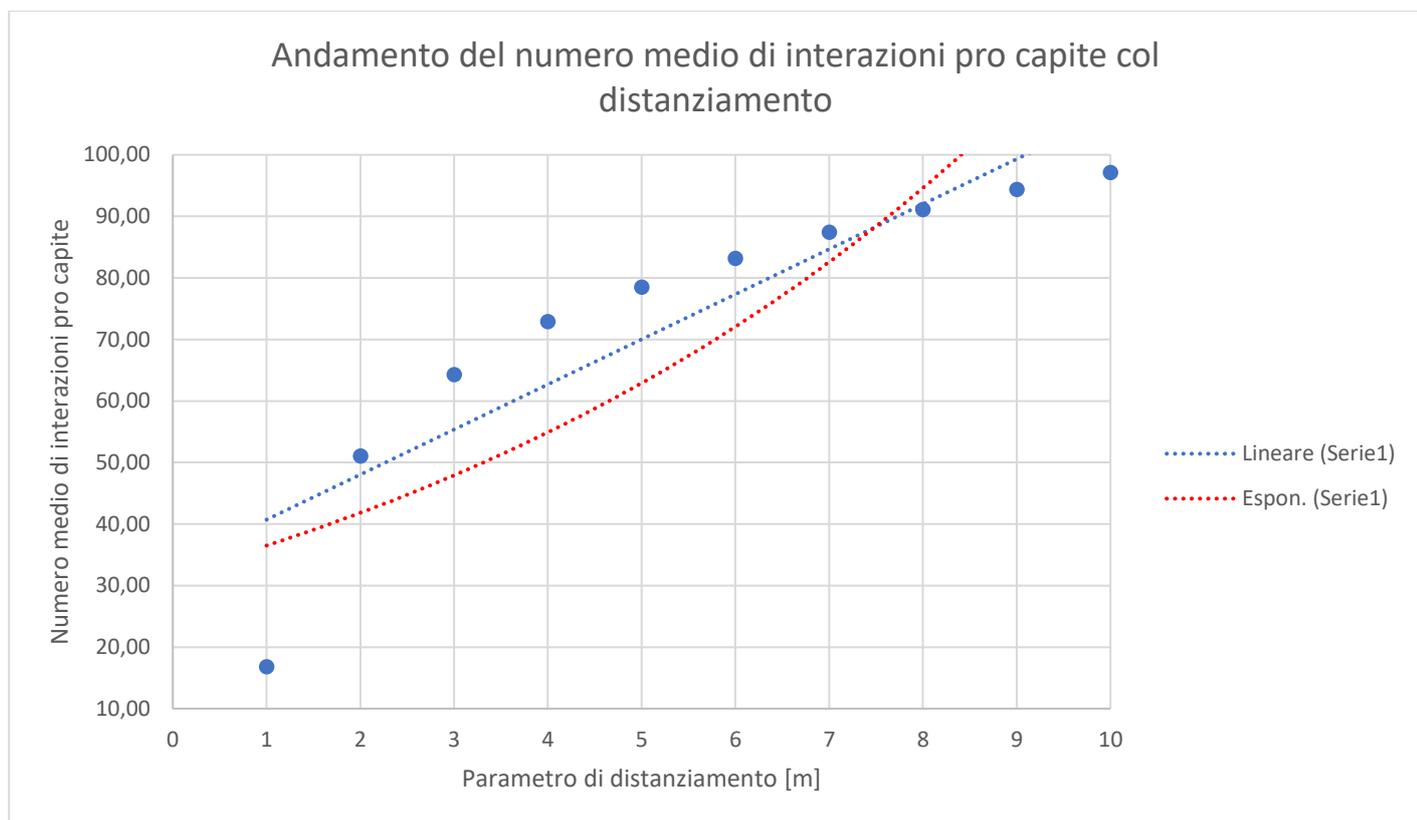


Figura 69: andamento del numero medio di interazioni pro capite

Anche in questo caso si osserva una tendenza chiara, esprimibile dalle due regressioni:

$$y = 7.32x + 33.39$$

$$y = 31.86 * 1.15^x$$

Si hanno quindi indicazioni sul fatto che il numero di interazioni pro-capite dipenda dal parametro di distanziamento che viene indicato al programma in fase di inizializzazione.

3.5.6. ANDAMENTO DEL TEMPO DI INTERAZIONE PRO-CAPITE RISPETTO AL PARAMETRO DEL DISTANZIAMENTO SOCIALE

Si vuole a questo punto verificare se anche il tempo di interazione pro-capite dipenda dal parametro di distanziamento sociale. I dati sono raccolti secondo le modalità di cui al paragrafo precedente, l'unica differenza è che invece del numero di interazioni pro-capite si riporta il tempo di interazione cumulativo pro-capite.

Si ottengono così vari gruppi di dati, corrispondenti alle varie simulazioni e riassunti dalla seguente tabella:

DISTANZA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MASSIMO	900	5355	9931	14066	17985	20592	22636	24432	26090	27824
MEDIA	90.05	959.33	1950.47	2814.51	3564.22	4159.65	4638.96	5040.73	5390.42	5698.13
DEV. STD.	145.97	1041.52	2002.26	2835.67	3567.31	4145.42	4602.36	4963.77	5282.83	5585.57
DIMENSIONE	1048	1048	1048	1048	1048	1048	1048	1048	1048	1048

Tabella 12: sintesi dei dati

Si procede quindi con un test ANOVA in maniera tale da verificare se esista una tendenza:

	SS	GDL	VARIANZA	F	P	α
TRA GRUPPI	1.55E+11	10470	1.48E+07	2.63E+02	100.00%	0.00%
ENTRO GRUPPI	3.50E+10	9	3.89E+09			
TOTALE	1.90E+11	10479				

Tabella 13: risultati del test ANOVA

Si osserva, dai risultati, che è possibile rifiutare l'ipotesi nulla e quindi ricercare se esista una correlazione tra il tempo di interazione e il distanziamento. Si incomincia esaminando l'andamento dei tempi di interazione cumulativi massimi:

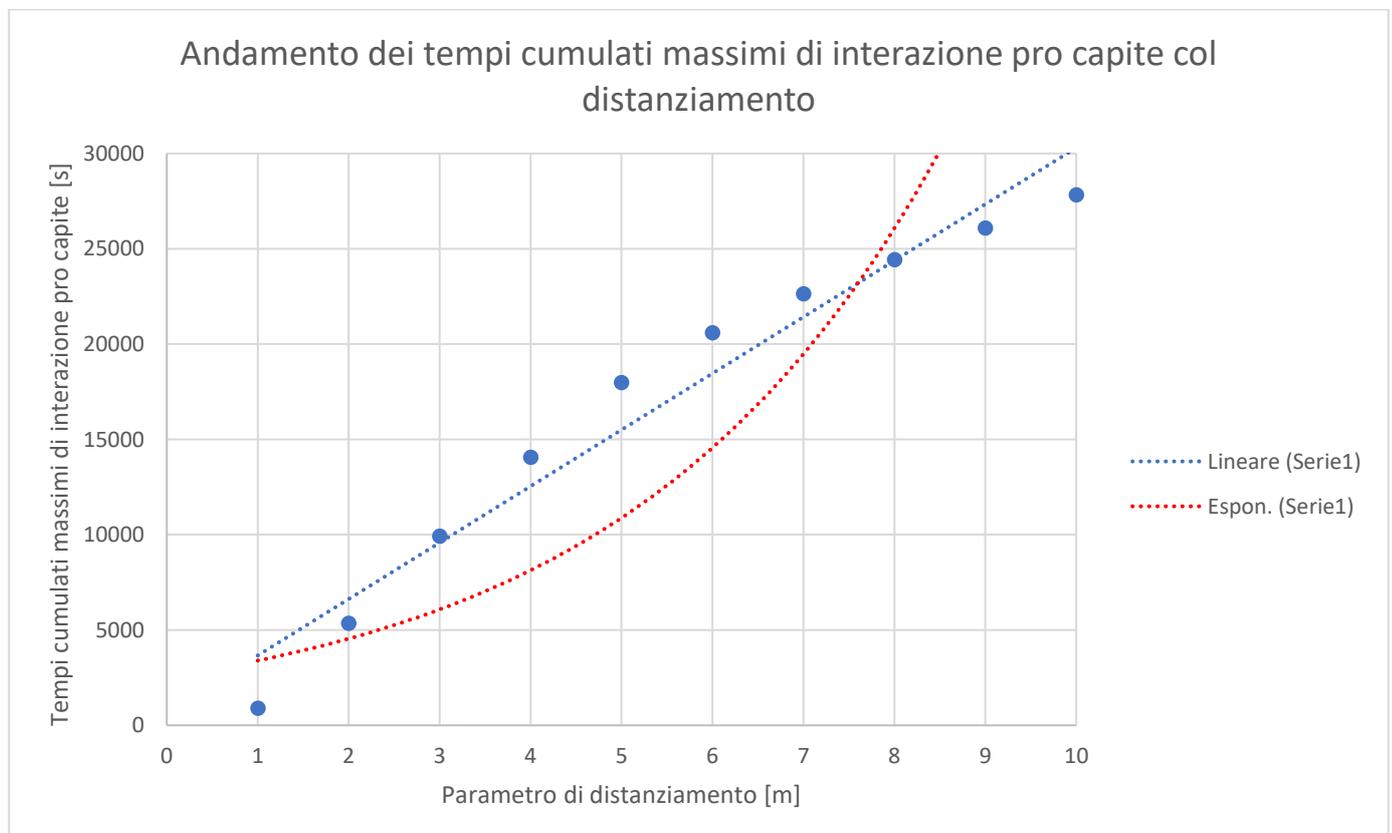


Figura 70: andamento dei tempi massimi di interazione col distanziamento

Si osserva come vi sia un andamento ben definito, esprimibile tramite le regressioni lineare ed esponenziale seguenti:

$$y = 2959.29x + 705$$

$$y = 2539.45 * 1.34^x$$

Si riporta, successivamente, l'andamento dei tempi medi in funzione del distanziamento stesso:

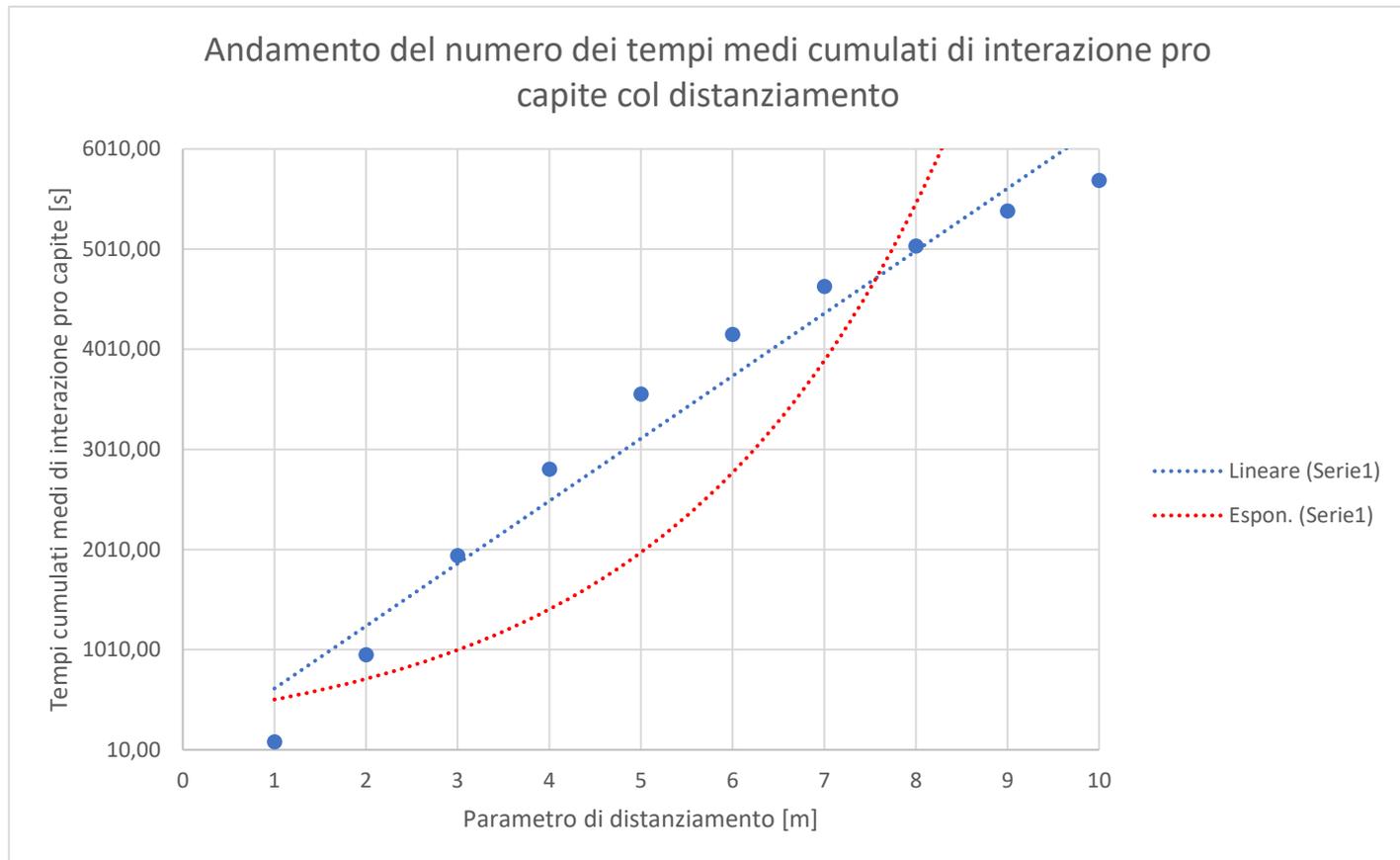


Figura 71: andamento dei tempi massimi di interazione col distanziamento

Anche in questo caso si osserva una tendenza chiara, esprimibile dalle due regressioni:

$$y = 7.32x + 33.39$$

$$y = 31.86 * 1.15^x$$

Si hanno quindi indicazioni sul fatto che il tempo cumulato di interazione pro-capite dipenda dal parametro di distanziamento che viene indicato al programma in fase di inizializzazione.

3.5.7. ANDAMENTO DEL NUMERO DI INTERAZIONI PRO-CAPITE RISPETTO AL NUMERO DI AGENTI DI SIMULAZIONE

Ci si può chiedere, a questo punto, se il numero di interazioni pro-capite è funzione del numero di agenti presenti all'interno della simulazione. Per poter effettuare tale analisi, si è deciso di operare nella seguente maniera:

- vengono condotte delle simulazioni con un numero di agenti pari a quelli esposti nel paragrafo ANDAMENTO DEL NUMERO MASSIMO DI INTERAZIONI IN FUNZIONE DEL NUMERO DI AGENTI DENTRO LA SIMULAZIONE;
- vengono raccolti i numeri di interazioni pro capite per ogni simulazione, ottenendo così dei gruppi di dati.

Tali dati sono riassunti dalla seguente tabella:

AGENTI	2992	2864	2629	2406	2200	1910	1498	1048
MASSIMO	273	238	222	181	188	150	132	95
MEDIA	78.92	68.07	59.01	43.49	37.05	32.15	24.03	16.79
DEV. STD.	45.21	39.13	35.43	29.25	27.25	25.48	19.43	14.67
DIMENSIONE	2992	2864	2629	2406	2200	1910	1498	1048

Tabella 14: sintesi dei dati

Si vuole a questo punto verificare se è possibile individuare una tendenza all'interno dei dati. Si procede quindi con il test ANOVA, che porta i seguenti risultati:

	SS	GDL	VARIANZA	F	P	α
TRA I GRUPPI	1.95E+07	17539	1.11E+03	8.85E+02	100.00%	0.00%
ENTRO I GRUPPI	6.89E+06	7	9.84E+05			
TOTALE	2.64E+07	17546				

Tabella 15: risultati del test ANOVA

Si osserva quindi come sia possibile rifiutare l'ipotesi nulla e procedere col rintracciare un andamento.

Si riporta un grafico recante l'andamento dei numeri massimi d'interazione al variare del numero di agenti:

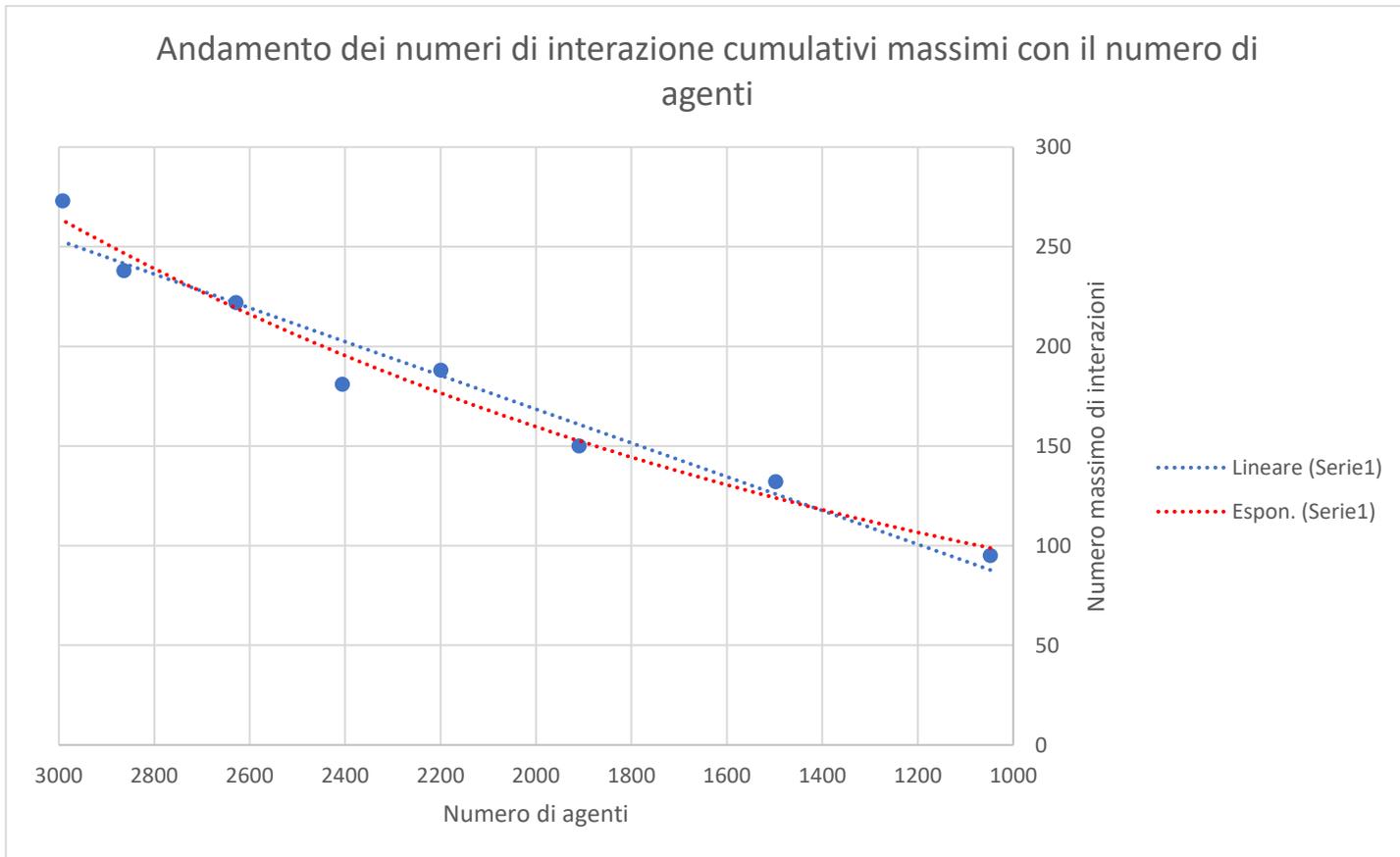


Figura 72: andamento delle interazioni massime con il numero di agenti

Si individua quindi una tendenza, espressa dalle regressioni lineare ed esponenziale:

$$y = 0.08x - 0.95$$

$$y = 58.28 * 1.00^x$$

Si riporta, inoltre, un grafico recante l'andamento dei numeri medi d'interazione al variare del numero di agenti:

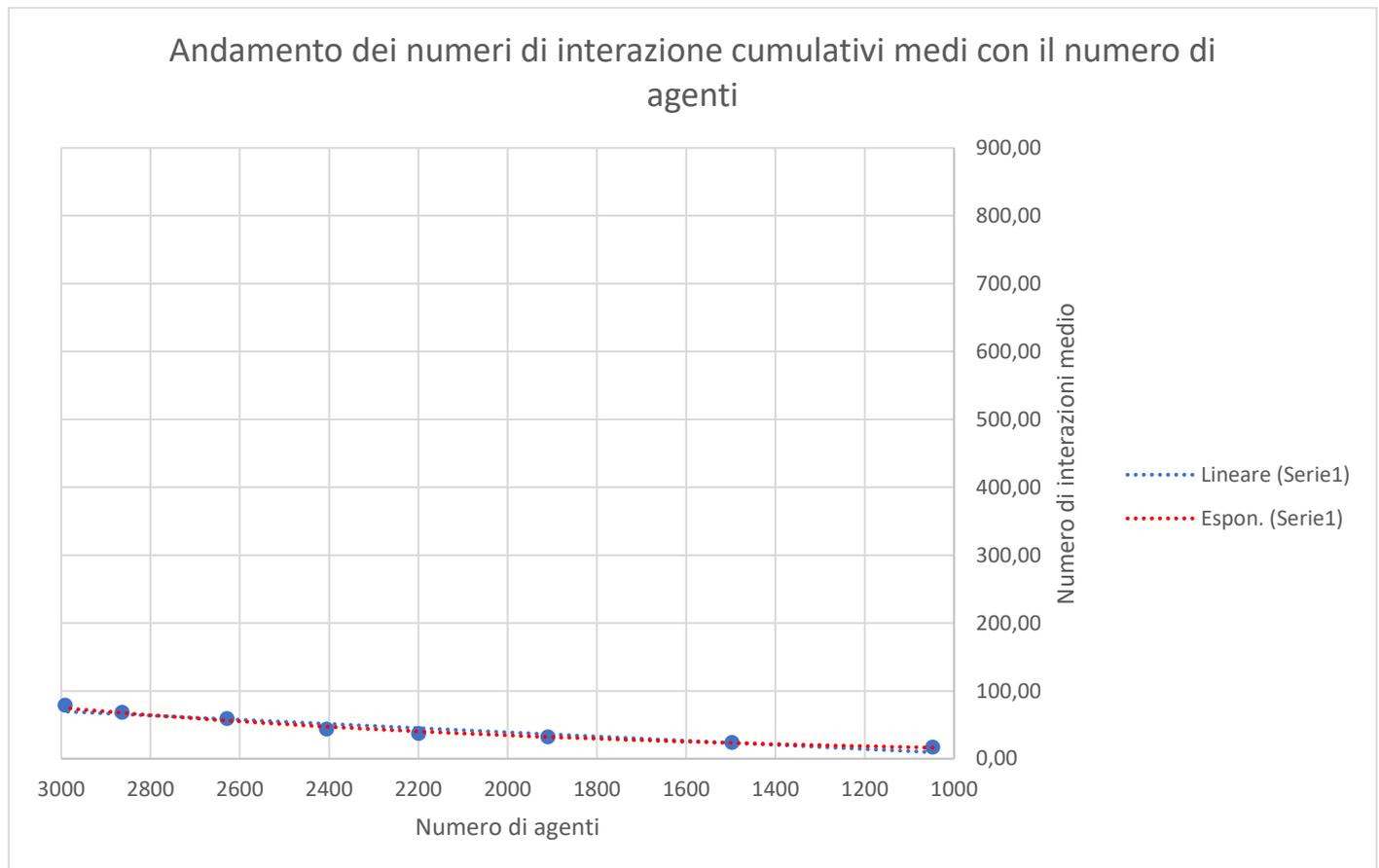


Figura 73: andamento dei numeri di interazione medi con il numero di agenti

Anche in questo caso si osserva una tendenza, espressa dalle regressioni:

$$y = 0.03x - 22.84$$

$$y = 7.23 * 1.00^x$$

Si vede quindi un legame tra il numero di interazioni e il numero di agenti.

3.5.8. ANDAMENTO DEL TEMPO DI INTERAZIONE PRO-CAPITE RISPETTO AL NUMERO DI AGENTI DI SIMULAZIONE

Con la stessa procedura è possibile verificare se esiste una correlazione tra il tempo di interazione pro-capite e il numero di agenti all'interno della simulazione. I dati raccolti, nello stesso modo di cui al paragrafo precedente, sono riassunti dalla seguente tabella:

AGENTI	2992	2864	2629	2406	2200	1910	1498	1048
MASSIMO	17117.25	8857	4605.25	1481.5	1471.6	1393	1139	900
MEDIA	877.38	472.89	386.30	189.75	161.89	150.57	116.68	90.05
DEV. STD.	1707.54	799.54	456.63	214.03	211.50	211.25	173.00	145.97
DIMENSIONE	2992	2864	2629	2406	2200	1910	1498	1048

Tabella 16: sintesi dei dati

Si cerca quindi di capire se è plausibile l'esistenza di una tendenza all'interno dei dati, tramite il test ANOVA. I risultati sono:

	SS	GDL	VARIANZA	F	P	A
TRA I GRUPPI	1.15E+10	17539	6.53E+05	2.72E+02	100.00%	0.00%
ENTRO I GRUPPI	1.24E+09	7	1.78E+08			
TOTALE	1.27E+10	17546				

Tabella 17: risultati del test ANOVA

Anche in questo caso si osserva come è possibile rifiutare l'ipotesi nulla e quindi supporre una tendenza.

Si riporta ora il grafico con l'andamento dei tempi massimi in funzione del numero di agenti:

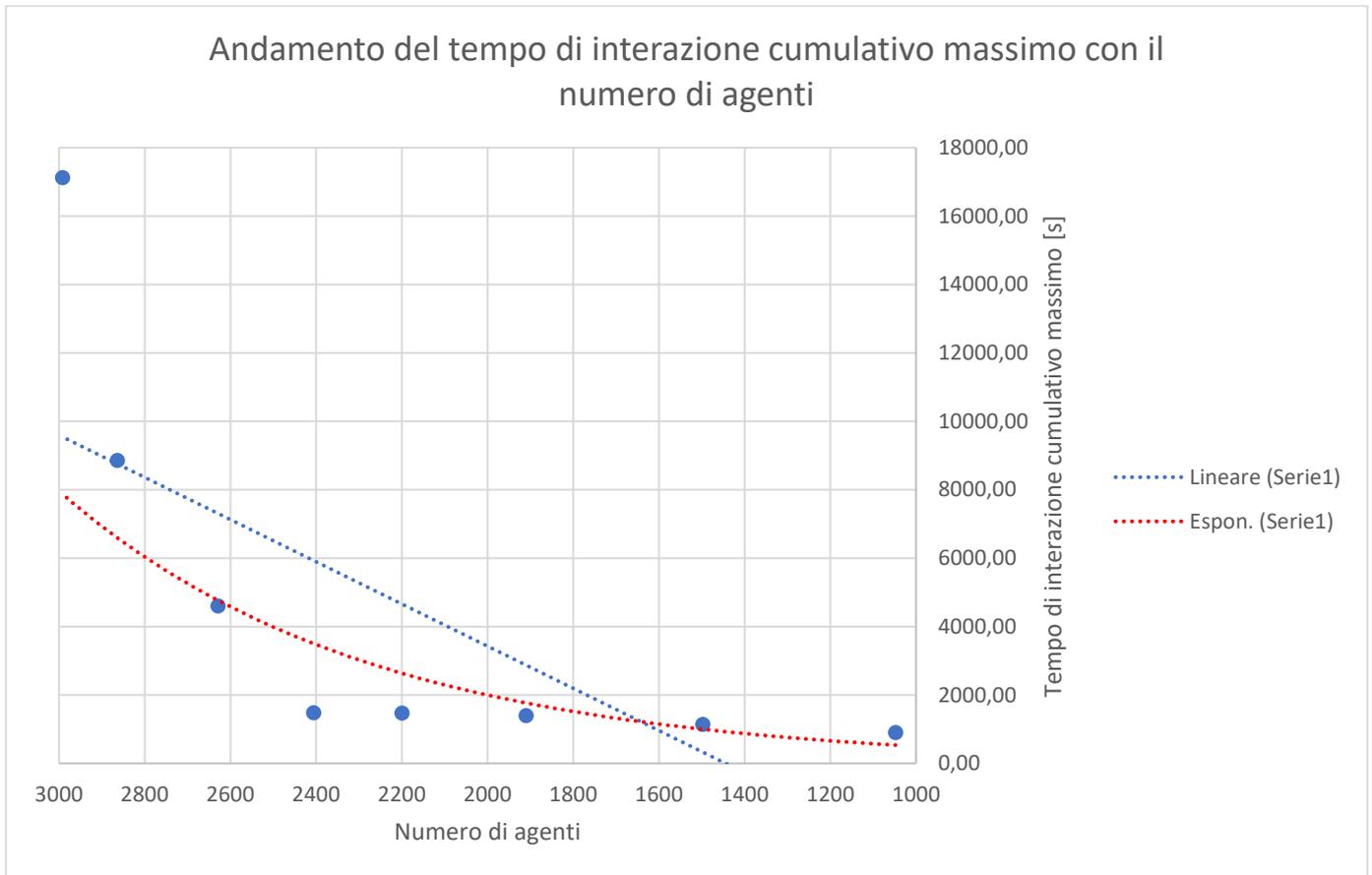


Figura 74: andamento dei tempi massimi di interazione cumulativa col numero di agenti

Si osserva quindi l'esistenza di una tendenza, illustrata dalle due regressioni:

$$y = 6.17x - 8905.17$$

$$y = 126.22 * 1.00^x$$

A questo punto si riporta anche il grafico con l'andamento dei tempi medi in funzione del numero di agenti:

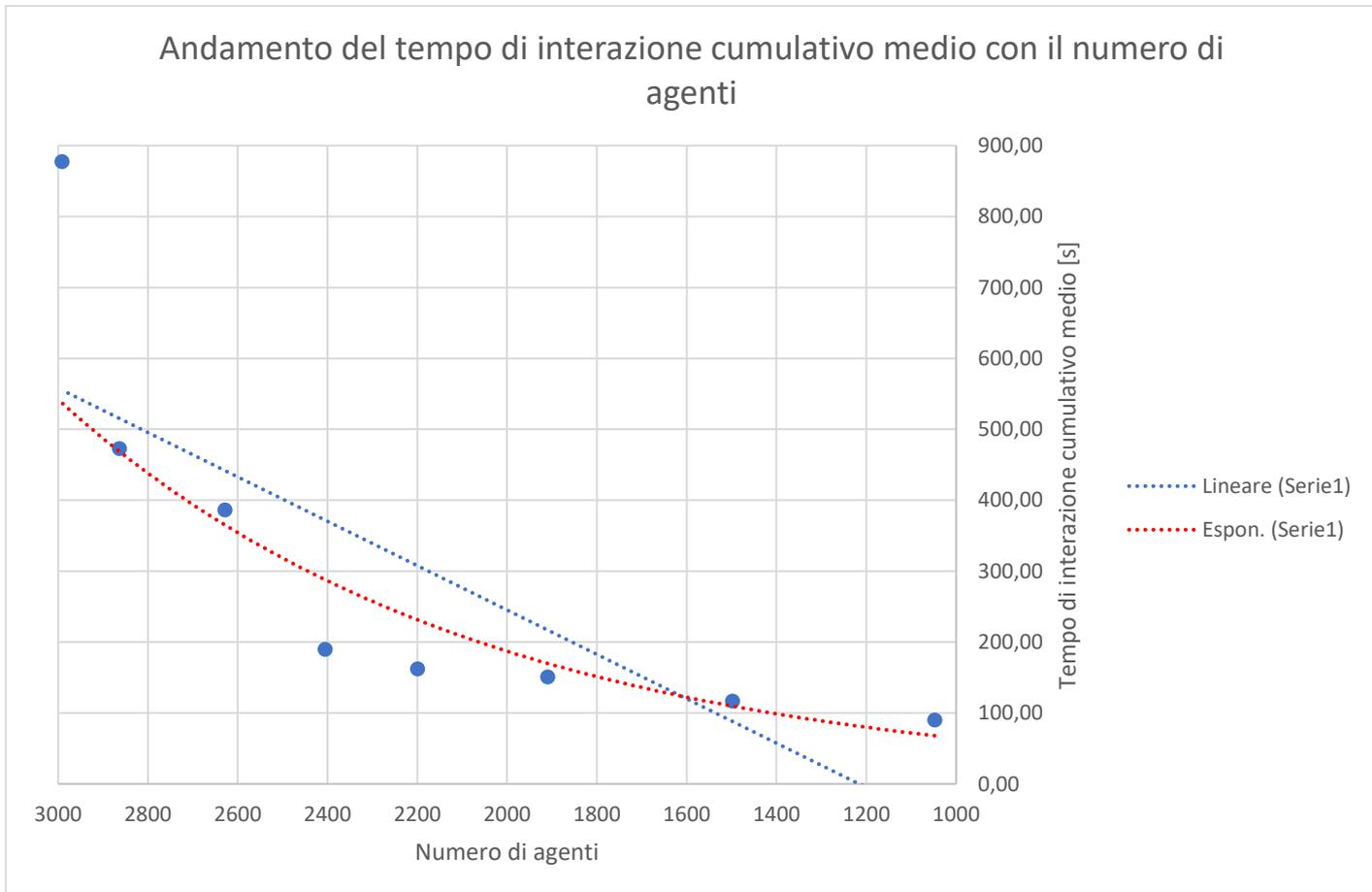


Figura 75: andamento dei tempi medi di interazione cumulativa col numero di agenti

Si osserva quindi l'esistenza di una tendenza, illustrata dalle due regressioni:

$$y = 0.31x - 380.51$$

$$y = 22.31 * 1.00^x$$

Si può quindi supporre la presenza di un legame tra il tempo di interazione e il numero di agenti presenti.

4. CONCLUSIONI

Il programma che è stato sviluppato e che è stato oggetto di questa trattazione vuole essere uno strumento utile a sviluppare nuove strategie per conciliare un ritorno ad una vita di frequentazione di locali più o meno estesi e di grandi eventi con la sicurezza rispetto al contagio da una malattia che sta mettendo in crisi tutte le nazioni del mondo.

Parte degli ingenti danni causati su più aspetti dalla pandemia è imputabile all'impreparazione generale, come segnalato dall'OMS già alla fine del 2019 nel rapporto annuale redatto dal Global Preparedness Monitoring Board (Dipartimento di controllo della preparazione globale, GPMB). In questo rapporto viene chiaramente indicato come bisogni "prepararsi al peggio: una pandemia causata da un patogeno che attacca le vie respiratorie e che si trasmette rapidamente" (Global Preparedness Monitoring Board - World Health Organization, 2019, p. 17-19), viene indicato come manchi una pianificazione tale da poter intervenire sulla rapida diffusione e sul forte impatto a livello sanitario, sociale ed economico di una pandemia letale. Le cause vengono individuate:

- nella mancanza di ricerca e sviluppo sia in ambito medico, sia in ambito industriale, logistico, comunicativo e finanziario;
- nella mancanza di una condivisione delle conoscenze tra i vari paesi;
- nella mancanza di un quantitativo di fondi appropriato;
- nella mancanza di inclusione delle scienze sociali all'interno di un quadro di preparazione.

La speranza è che questo programma possa contribuire a colmare questa mancanza di preparazione sia per lo scenario pandemico attuale, sia per prossime probabili pandemie. Si ricorda, infatti, che i modelli teorici su cui questo si fonda sono caratterizzati da una forte flessibilità e possibilità di adattarsi a scenari differenti (§ paragrafo DETERMINAZIONE DEL RISCHIO). Sarà quindi possibile, nell'evenienza, modificare il programma stesso per rispecchiare i mutati scenari e suggerire delle risposte contenitive adeguate.

5. BIBLIOGRAFIA

- AGID - Agenzia per l'Italia digitale. (2020, Luglio 06). *App Immuni*. Tratto da AGID - Agenzia per l'Italia digitale: <https://www.agid.gov.it/it/app-immuni>
- Edward A. Murphy Jr. (2018, Febbraio 03). Tratto da Alchetron - Free Social Encyclopedia for the World: <https://alchetron.com/Edward-A.-Murphy-Jr.>
- Federal Aviation Administration. (2017, Maggio 2). *FAA Order 8040.4B, Safety Risk Management Policy*. Tratto da Federal Aviation Administration: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/FAA_Order_8040.4B.pdf
- Global Preparedness Monitoring Board - World Health Organization. (2019). *A world at risk - Annual report on global preparedness for health emergencies*. Ginevra. Tratto da World Health Organization: https://apps.who.int/gpmb/assets/annual_report/GPMB_annualreport_2019.pdf?utm_source=ottawamatters.com&utm_campaign=ottawamatters.com&utm_medium=referral
- Helbing, D., & Molnár, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E*, 2-7.
- Immuni - Domande Frequenti*. (2020). Tratto da Immuni - Sito Ufficiale: <https://www.immuni.italia.it/faq.html>
- Khalid, M. N., & Yusof, U. K. (2018). Dynamic crowd evacuation approach for the emergency route planning problem: Application to case studies. *Safety Science*.
- Ronchi, E., & Lovreglio, R. (2020). EXPOSED: An occupant exposure model for confined spaces to retrofit crowd models during a pandemic. *Safety Science*.
- Ronchi, E., Lovreglio, R., Scozzari, R., & Fronterre, M. (2020). USE OF CROWD EVACUATION MODELS IN TIMES OF PANDEMIC. *SFPE Europe*.
- Ronchi, E., Scozzari, R., & Fronterre, M. (2020). A risk analysis methodology for the use of crowd models during the Covid-19. *LUTVDG/TVBB*, 10-16.
- Rota, R. (2008). *Sicurezza, metodologie e applicazioni*. Tratto da Treccani: https://www.treccani.it/enciclopedia/metodologie-e-applicazioni-sicurezza_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/
- Thunderhead Engineering. (2017). *Pathfinder Technical Reference Manual*. Tratto da Thunderhead Engineering: https://www.thunderheadeng.com/files/com/pathfinder/tech_ref.pdf