

VALUTAZIONE DELLE COMPLESSITA' DELLE VIE DI FUGA ALL'INTERNO DI EDIFICI

EVALUATION OF THE COMPLEXITY OF ESCAPE ROUTES INSIDE THE BUILDINGS

N. Grasso ^a, M. Piras ^a, E. Verbree ^b, S. Zlatanova ^c

^a Politecnico di Torino, DIATI - Department of Environmental, Land and Infrastructure Engineering, C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino, Italy, (nives.grasso,marco.piras)@polito.it. ORCID: 0000-0002-9548-6765, 0000-0001-8000-2388

^b Delft University of Technology, Faculty of Architecture and the Built Environment, OTB - Research Institute for the Built Environment, GIS Technology, Julianalaan 134, 2628 BL, Delft, The Netherlands, E.Verbree@tudelft.nl

^c Delft University of Technology, Faculty of Architecture and the Built Environment, Department of Urbanism, 3D Geoinformation, Julianalaan 134, 2628 BL, Delft, The Netherlands, S.Zlatanova@tudelft.nl. ORCID: 0000-0002-8766-0487

PAROLE CHIAVE: complessità, indoor, emergenze, analisi visibilità, ISOVIST, grafo visibilità

KEY WORDS: Path Complexity, Indoor environment, Emergency situations, Visibility analysis, Isovists, Visibility graphs

Questo articolo è la traduzione e il sunto della versione sottomessa per uno SPECIAL ISSUE di APPLIED GEOMATICS collegata al convegno SIFET 2017.

RIASSUNTO

In situazioni di emergenza che coinvolgono grandi edifici, come gli edifici pubblici e gli uffici, è importante che i principali percorsi di fuga siano correttamente segnalati. In queste situazioni, un gran numero di persone deve fluire facilmente anche in ambienti altamente articolati. È quindi necessario individuare i percorsi meno complicati da seguire per garantire un'evacuazione veloce ed efficiente delle persone. I modi in cui una persona è in grado di muoversi all'interno dell'ambiente sono fortemente influenzati dallo spazio che è in grado di vedere davanti a sé. La configurazione architettonica degli edifici e la localizzazione di alcuni oggetti nello spazio possono causare problemi di visibilità e influenzare la percezione dei percorsi attraverso i quali è possibile navigare. Sono stati analizzati diversi metodi per identificare lo spazio visibile da un certo punto di vista, collegando la percezione dell'utente con l'ambiente circostante. In particolare, nel campo della sintassi spaziale e della scienza cognitiva, si è tentato di descrivere le caratteristiche di un ambiente attraverso la teoria delle isovist e dei grafi di visibilità, che consentono di calcolare descrittori numerici dell'ambiente e stimare come viene percepito da una determinata persona. Tuttavia, molti di questi studi sono mirati ad un'analisi bidimensionale dell'ambiente o non tengono conto di una possibile configurazione dinamica del moto. Questo contributo propone un metodo per valutare quantitativamente la complessità di un percorso noto in un edificio rappresentato da una nuvola di punti tridimensionale, attraverso l'uso combinato di isovist e di grafi di visibilità. I descrittori numerici così estratti vengono utilizzati per identificare quali possono essere i percorsi di fuga più facilmente accessibili in situazioni di emergenza.

ABSTRACT

In emergency situations involving large buildings, such as public buildings and offices, it is important that the main escape routes are correctly signalled. In these situations, a large number of people must flow easily even in highly articulated environments. It is therefore necessary to identify the less complicated paths to follow in order to ensure a fast and efficient evacuation of people. The ways in which a person is able to move within the environment are strongly influenced by the space he is able to see in front of himself. The architectural configuration of buildings and the location of some objects in space can cause visibility problems, affecting the perception of the paths through which it is possible to navigate. Different methods have been analysed to identify the visible space from a certain point of view, by linking the user's perception with the surrounding environment. In particular, in the field of space syntax and cognitive science, attempts were made to describe the characteristics of an environment through the approaches of isovists and the visibility graphs, which allow to calculate numerical properties of the environment as it is perceived by a certain person. However, many of these studies are aimed at a two-dimensional environment analysis, or do not take into account a possible dynamic configuration of the motion. This contribution proposes a method for quantitatively assessing the complexity of a known pathway in a building represented by a three-dimensional point cloud, through the combined use of isovists and visibility graphs techniques. The so extracted numerical descriptors are used to identify what could be the most easily accessible escape routes in emergency situations.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni, lo studio delle dinamiche di evacuazione da edifici in situazioni di emergenza è stato condotto con crescente interesse. Tra gli aspetti più importanti per la sicurezza delle persone vi è l'identificazione delle uscite d'emergenza in maniera rapida e sicura. La capacità di raggiungere un posto sicuro è, infatti, uno dei principali requisiti in caso di incendi o eventi naturali. Tuttavia, per analizzare le dinamiche dell'esodo, non è sufficiente limitare lo studio ai parametri meccanici del movimento. Oggi, le valutazioni ingegneristiche sulla sicurezza

antincendio si basano su un confronto tra il tempo necessario per l'evacuazione e il tempo disponibile per raggiungere un luogo sicuro. Queste analisi considerano sia le caratteristiche fisiche delle persone che la valutazione dei meccanismi mentali che regolano il loro comportamento in situazioni di emergenza (Marsella et al., 2016). Altri fattori importanti da tenere in considerazione durante la simulazione di questi scenari sono la complessità degli ambienti, il numero di persone coinvolte e le loro interazioni. Ad oggi, sono stati sviluppati un numero significativo di modelli di simulazione dell'evacuazione, che forniscono un metodo efficace per testare la sicurezza di un

edificio sia esistente che in costruzione. Grazie a questi modelli, è possibile condurre la analisi su differenti modelli e scenari considerati di interesse per l'analisi del comportamento di evacuazione e valutare la via di fuga migliore da seguire in un edificio. Nel processo ingegneristico, il calcolo dei tempi di esodo è condotto con modelli deterministici, che sfruttano dati relativi alla velocità e al comportamento degli individui per stimare il tempo impiegato ad allontanarsi dall'area di rischio. Le tecniche di simulazione possono essere classificate in due sottoinsiemi: modelli macroscopici, che cercano di descrivere le vie di fuga e gli aspetti meccanici che influenzano il movimento e modelli microscopici che analizzano il comportamento e le decisioni dei singoli individui e come interagiscono tra loro nel folla (Pelechano e Malkawi, 2008). Entrambi i modelli simulano il movimento delle persone cercando di evitare collisioni con muri, oggetti e altre persone.

Nei modelli di simulazione di evacuazione, l'aspetto comportamentale è sicuramente il fattore più complesso e difficile da modellare. I dati comportamentali considerati si riferiscono a relazioni interpersonali o allo scambio di informazioni tra le persone che influenzano le loro scelte di movimento (Okaya et al., 2014), ovvero il percorso e la velocità di spostamento (Helbing et al., 2002). Anche l'ambiente, e come viene percepito da una persona, può influenzare le capacità decisionali e le scelte che vengono fatte (McGrath, 1970).

In generale, per valutare la capacità di uno spazio confinato a far defluire velocemente una massa di persone, è essenziale ricordare che questo dipende da diversi fattori, come gli aspetti configurativi, ambientali (layout delle strutture, il numero di uscite, la larghezza delle uscite e la distanza da percorrere) e comportamentali (Marsella et al., 2016). Tuttavia, questi fattori sono analizzati solo per valutare gli aspetti meccanici che influenzano il flusso delle persone, ma non si tiene conto di come questi fattori possano influenzare la percezione dell'ambiente e il comportamento degli utenti. Un fattore che non viene mai analizzato e quantificato nei differenti modelli di simulazione è la visibilità lungo il percorso e come questo influenzi il movimento delle persone.

Tutti i modelli di simulazione forniscono la definizione dello spazio simulato, utilizzando griglie fini o grossolane per la sua rappresentazione (Santos et al 2004, Pelechano e Malkawi 2008). In ogni caso lo spazio viene discretizzato in regioni interconnesse, secondo uno schema di archi e nodi. Ogni nodo rappresenta una piccola area di spazio e ogni arco rappresenta la distanza tra ciascun nodo. Gli strumenti di simulazione tengono generalmente conto di questa griglia 2D per valutare se vi siano ostacoli tra le interconnessioni dei nodi. Alcuni software sono in grado di analizzare modelli 3D dell'ambiente, ma li usano solo per generare reti 3D di nodi (Choi e Lee, 2009), o per rappresentare la simulazione del flusso di persone attraverso l'edificio o per estrarre la lunghezza dei percorsi. I vantaggi di simulare l'evacuazione in un ambiente tridimensionale consentirebbe una rappresentazione più realistica dell'ambiente in maniera da ottenere una valutazione più accurata di come esso possa influenzare il comportamento. Tale modello 3D permetterebbe, inoltre, di prendere in considerazione ulteriori parametri, quali l'altezza degli individui e l'area di percorso visibile dal loro punto di vista.

Con questo contributo si propone un metodo per la valutazione quantitativa della complessità di un percorso di fuga, a partire da una nuvola di punti tridimensionale e di come esso viene percepito da una persona, attraverso l'uso combinato di isoviste e grafi di visibilità. I descrittori numerici che vengono così estratti possono essere utilizzati per identificare i percorsi di fuga più facilmente percorribili in situazioni di emergenza.

1.1 Analisi della complessità

I software di simulazione dell'evacuazione simulano il flusso di persone che tentano di raggiungere un luogo sicuro, evitando collisioni, sfruttando diversi algoritmi per la stime dei percorsi più brevi, come l'algoritmo A* (Xiong et al., 2017). Ad oggi, il campo della geomatica offre diversi studi relativi a questi algoritmi, adattabili anche al caso delle emergenze. Molti studi si sono concentrati sulla valutazione in tempo reale della possibilità di trovare i percorsi più brevi per raggiungere un determinato punto (Wang et al., 2013); (Vanclouster et al., 2014) invece hanno proposto un algoritmo di stima del percorso con la minima probabilità di perdersi. In altri casi, questi algoritmi consentono di pianificare un percorso anche in "ambienti complessi" (Goetz et al., 2011). Occorre, dunque, definire quale sia un ambiente o un percorso complesso

Nella letteratura, quando si parla di navigazione in ambienti complessi, ci si riferisce di solito ad ambienti articolati, che consistono in un'alternanza di corridoi e stanze, spesso diramati su più piani collegati tra loro da scale oppure identificati in funzione del numero di nodi che compongono il percorso (Salomon et al. 2003; Wiener et al., 2004). Spesso, la definizione di ambiente o percorso complesso è data per scontata. In generale, bisogna distinguere tra due problematiche: la complessità dovuta all'arredamento interno e quella legata alla struttura dell'edificio. Gli spazi sono influenzati dalla loro struttura e dalla presenza di muri e o angoli, colonne, scale o rampe, ecc., ma anche dalla presenza di mobili, oggetti in movimento o gruppi di persone (si pensi, ad esempio, a grandi luoghi pubblici affollati come stazioni, aeroporti o agli uffici). Nelle situazioni di emergenza, gli elementi sopra menzionati complicano ulteriormente l'evacuazione, causandone la congestione.

Durante un'evacuazione, un individuo deve essere in grado di orientarsi attraverso un percorso che probabilmente non conosce e che cambia dinamicamente durante il movimento.

La capacità di definire la complessità di un ambiente può essere legata all'analisi della visibilità condotta nell'ambiente dal punto di vista del soggetto. La distanza di visione libera deve essere confrontata con le distanze necessarie a una persona per fermarsi in sicurezza davanti ad un ostacolo inaspettato, tenendo conto del modello di dinamica del moto dell'utente. Definiamo, quindi, complessa una situazione in cui l'utente prova disagio nel muoversi in un ambiente in cui non vi è una visibilità adeguata per evitare una possibile collisione con un altro utente o con un oggetto.

In situazioni normali, ma soprattutto in caso di emergenza, un percorso può essere complicato per navigare anche in un ambiente meno complesso. In Figura 1 sono mostrati due casi in cui, nella stessa configurazione dell'ambiente, un percorso può essere percepito con differente livello di complessità. Nel caso (a) è rappresentato un corridoio molto stretto: un individuo potrebbe facilmente attraversare questo spazio, ma un comportamento comune sarebbe quello di rallentare la velocità di movimento a causa della mancanza di visibilità, fortemente limitata dagli angoli (Benedikt, 1979). Tuttavia, cambiando la larghezza del corridoio, abbiamo immediatamente la percezione di un ambiente più navigabile, anche da persone disabili o in fuga, in cui la visibilità è ostacolata solo in parte dagli spigoli. Per garantire sempre una buona visibilità, in questo caso, il percorso più semplice da seguire è il percorso più breve.

Anche aumentando la dimensione del corridoio del caso (b), ciò potrebbe portare a medesime considerazioni, ma in questo caso, al centro della stanza vi sarebbe ancora una criticità, una colonna, che potrebbe rappresentare un ostacolo alla visibilità. Pertanto, un utente potrebbe trovarsi a scegliere se percorrere il percorso

più breve, ma con una vista limitata o il percorso più sicuro, ma più lungo.

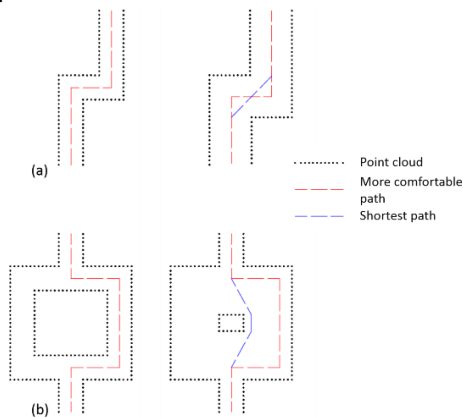


Figura 1. Esempi di possibili configurazioni di percorsi all'interno di un ambiente.

Infatti, si suppone che la navigazione in percorsi complessi richieda un maggiore sforzo mentale. Inoltre, in situazioni di emergenza, ciò potrebbe avere un impatto negativo sulla ricerca di uscite di sicurezza, aumentando il tempo necessario per raggiungere un luogo sicuro.

2. STATO DELL'ARTE

Nelle prossime sezioni, verranno presentati diversi approcci di analisi di visibilità, condotti direttamente su una nuvola di punti 3D, che potrebbero essere utilizzati per valutare il grado di complessità di una via di fuga, descrivendone i rispettivi vantaggi e svantaggi.

2.1 Modello tridimensionale dell'ambiente

Oggi è possibile ottenere informazioni tridimensionali sull'ambiente in forma di nuvole di punti in modo rapido e semplice grazie ai vari tipi di sensori esistenti (LiDAR, sensori RGB, RGB-D ecc.). Inoltre, questi sensori hanno raggiunto dimensioni tali da poter essere montati su mezzi come UAV (Unmanned Aerial Vehicle) e UGV (Unmanned Ground Vehicle), che consentono una facile, rapida e automatica acquisizione dei dati, anche in luoghi dove le persone non possono accedere. Pertanto, si è ritenuto importante considerare le metodologie che permettono di estrarre informazioni utili per individuare la complessità dei percorsi a partire da nuvole di punti tridimensionali, sparse o dense, dell'ambiente interno.

2.2 Campo visivo dell'individuo

Oltre alla posizione di un osservatore, deve essere considerata l'altezza del punto di vista. Lo spazio di vista è determinato da caratteristiche come l'angolo visivo, la linea di visione massima e anche l'attività che viene eseguita in quel momento. In questo documento non verranno considerati valori universali per questi parametri, perché si vogliono analizzare diverse metodologie che possono essere adattate a diversi ambienti e soprattutto a diverse tipologie di utente; ciò che per un utente potrebbe essere un ostacolo per gli altri non può esserlo. Inoltre, come verrà descritto in seguito, il campo visivo da considerare dipende dal tipo di analisi che verrà condotta. In alcuni casi si terrà conto di un campo di vista tridimensionale in altri casi sarà considerato un angolo orizzontale bidimensionale di vista. Va ricordato che alcuni studi prendono in considerazione solo una linea di vista.

2.3 Identificazione degli ostacoli e analisi di visibilità

Esistono diverse ricerche riguardanti le metodologie per l'analisi della visibilità, in particolare, alcuni di questi approcci possono essere utilizzati per identificare eventuali ostruzioni o occlusioni in un modello 3D dell'ambiente. Uno dei metodi più semplici è quello di analizzare la "line of sight" (LOS) tra un osservatore e un target, in modo da individuare un eventuale ostacolo tra gli estremi della linea (Iglesias et al., 2016). Questo algoritmo è utilizzato principalmente nei sistemi GIS e non consente di eseguire l'analisi direttamente sulla nuvola di punti, ma solo modelli di elevazione, TIN o multipatch (Bassani et al., 2015). Al fine di analizzare la visibilità di un automobilista in campo stradale, Iglesias et al. (2016), hanno formulato un algoritmo basato sul metodo LOS per rilevare le ostruzioni in modelli di punti LiDAR. Se i punti rilevati all'interno del cilindro hanno una densità sufficiente, essi sono considerati rappresentativi di un'occlusione. Tuttavia, il risultato dell'analisi dovrebbe essere valutato nel caso in cui il dato di input sia costituito da una nuvola rumorosa o sparsa.

Un approccio comunemente usato per valutare la visibilità è quello che prevede la generazione e la successiva interrogazione di un'immagine sintetica. Un'immagine sintetica è una mappa digitale in cui i valori dei pixel sono le coordinate (x, y, z) anziché le informazioni RGB (Alsadik et al., 2014). Alsadik et al. (2014) descrivono una tecnica per la generazione di immagini sintetiche basate sul metodo *Z-buffering*. La procedura è applicata a una struttura di voxel, i quali vengono proiettati su una griglia piana; successivamente si verifica se i poligoni 2D rappresentino le aree più vicine o lontane dal piano. Tuttavia è stato dimostrato che questa tecnica richiede lunghi tempi di calcolo. Chiabrando et al. (2017), anche se con scopi diversi, hanno elaborato un algoritmo per la generazione di immagini RGB-D, ovvero, immagini digitali RGB con parametri di orientamento interni ed esterni conosciuti, dove, per ogni pixel, vengono registrati la distanza tra il centro di proiezione e gli oggetti acquisiti.

2.4 Isovist e grafi di visibilità

La teoria delle isovist nacque decine di anni fa nel campo della scienza cognitiva Benedikt (1979). Una isovist (Figura 2) è una rappresentazione geometrica dello spazio, un poligono, di ciò che può essere visto da un punto di osservazione, delimitato da superfici di occlusione (Van Bilsen, 2008). In molti studi l'analisi delle isovist è stata limitata alle due dimensioni, in un piano orizzontale (Benedikt, 1979; Weitkamp, 2011). Tuttavia, per ottenere informazioni quantitative e realistiche sull'ambiente, è necessario valutare le relazioni tra le isovist nelle aree in cui i poligoni si sovrappongono.

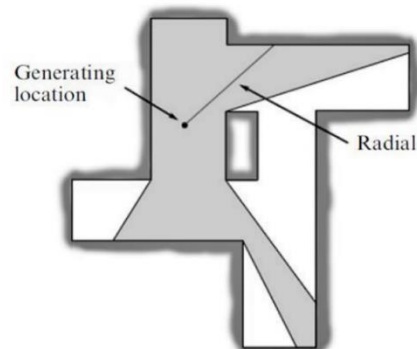


Figura 2. Esempio di isovist, che descrive l'area visibile da un certo punto di vista (Turner et al., 2001).

Benedikt (1979) studiò diverse proprietà numeriche delle isovist, quali l'area, il perimetro, le occlusioni, la varianza, l'inclinazione

e la circolarità, che rappresentano fattori percettivi e cognitivi e che possono essere mappati per generare un campo scalare matematico (campo delle isovist) (Figura 3).

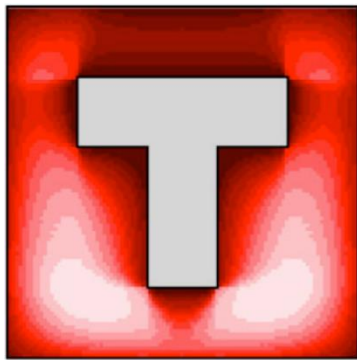


Figura 3. Esempio di un campo di isovist che rappresenta la variazione del raggio medio delle isovist all'interno dell'ambiente (van Bilsen and Stolk 2007).

Secondo Benedikt (1979) l'ambiente può essere discretizzato in un piccolo numero di nodi (punti di vista) e, quindi, un piccolo numero di isovist è sufficiente a descrivere l'intero ambiente.

Un approccio simile a quello delle isovist è la tecnica di analisi dei grafi di visibilità, sviluppata da Turner et al. (2001) (Figura 4). In questo studio, le proprietà globali dell'ambiente sono calcolate calcolando l'intervisibilità tra i nodi distribuiti regolarmente su una griglia all'interno dell'ambiente. Turner et al. (2001) analizzano analiticamente tre misure di proprietà del grafico: dimensione della griglia di punti visibili (equivalente all'area di un'isovist), coefficiente di *clustering* e la lunghezza media più breve del percorso. A seguito di molteplici test condotti in ambienti reali, si è concluso che il coefficiente di cluster, che è una misura locale del grafico che varia a seconda della relazione tra vertici visibili, indica quanta parte del campo visivo di un osservatore sarà mantenuto o perso quando esso si allontana da quel punto. Il coefficiente di *clustering* è quindi potenzialmente correlato al processo decisionale in caso di navigazione all'interno di una configurazione complessa. Questo indice misura anche quanto gli oggetti disturbano lo spazio visivo, permettendo di quantificare lo spazio percepito.

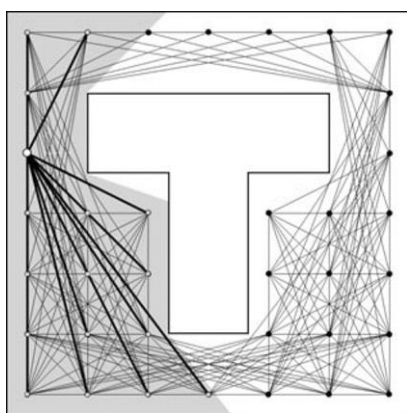


Figura 4. Esempio di grafi di visibilità del primo ordine, che mostrano la griglia di connessioni per una configurazione semplice dell'ambiente (Turner et al., 2001).

Considerando che la lunghezza media del percorso più breve può essere descritta come il numero medio di connessioni tra i nodi più una, richieste per spostarsi all'interno dello spazio; essa consente di quantificare l'accessibilità visiva di ogni posizione nel sistema spaziale. Benedikt (1979) e Turner et al. (2001) hanno

condotto numerosi test in ambienti reali senza mai confrontare i risultati con la reale percezione umana. Un altro problema non trattato in questi lavori è la stima dell'errore dovuto alla discretizzazione dell'ambiente, perché, in tal senso, molti aspetti dell'osservazione umana potrebbero non essere descritti.

L'approccio proposto da Wiener et al. (2004) consiste in una combinazione dei due metodi descritti in precedenza e ha permesso agli autori di individuare ulteriori descrittori significativi dell'ambiente, tra i quali il numero di vertici, l'apertura, il frastagliamento e il coefficiente di rivelazione.

A seguito di alcuni test eseguiti in ambienti virtuali è stato confermato che questi ultimi indici analizzati insieme descrivono aspetti della complessità ambientale.

Procedure di analisi di isovist tridimensionali sono descritte in Fisher-Gewirtzmann et al. (2003). Gli autori introducono un interessante descrittore spaziale, l'indice di apertura spaziale (SOI), ovvero il volume dello spazio libero potenzialmente misurabile da tutti i punti di osservazione.

Weitkamp (2011) stima l'apertura percepita del paesaggio tenendo conto di tre indici estratti dalle isovist: i raggi minimo, massimo e medio. I valori calcolati sono stati confrontati con l'apertura percepita durante un esperimento che ha coinvolto 32 partecipanti e che ha confermato che il raggio medio è strettamente correlato all'apertura.

3. APPROCCIO PROPOSTO

L'approccio che si propone prevede la costruzione di una sequenza di nodi che rappresentino le posizioni accessibili dall'utente lungo il percorso libero, in un ambiente rappresentato da una nuvola di punti tridimensionale. L'altezza dei nodi corrisponde al livello dell'occhio umano, mentre il passo tra i nodi dipende dalla velocità stimata dell'utente e dalla distanza necessaria per fermarsi e evitare collisioni con oggetti o altri agenti.

Con questa configurazione possono essere eseguite due tipologie di analisi. In una prima fase, si considerano solo le interconnessioni visive tra i nodi (linee di vista), creando un grafo di visibilità, come proposto da Varoudis et al. (2014). Nel nostro caso, considereremo come punti accessibili solo i nodi del percorso (Figura 5).

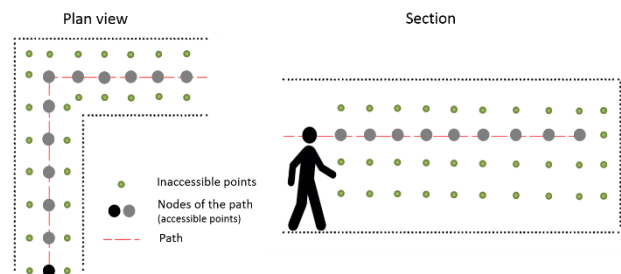


Figura 5. Rappresentazione della griglia di nodi 3D per l'approccio con i grafi di visibilità.

In questo modo è possibile calcolare sia le proprietà descritte da Turner et al. (2001), ad altezza dell'occhio umano, che l'indice di integrazione 3D, introdotto da Varoudis et al. (2014), che rappresenta il numero medio di connessioni più una, richieste per muoversi nello spazio e l'indice di connettività 3D che consente di valutare come la variazione del volume dell'ambiente influenza la visibilità.

La fase successiva prevede la generazione in sequenza di isovist calcolate a partire dai nodi del percorso (Figura 6), considerando il campo visivo dell'utente, orientato nella direzione del movimento.

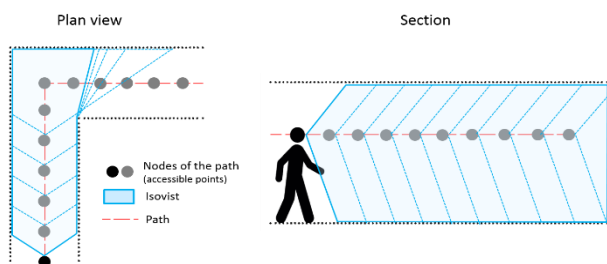


Figura 6. Generazione del campo di isovist.

In questo contributo ci si propone di generare isovist tridimensionali. La capacità di valutare la variazione delle proprietà relative alle isovist è molto importante, in quanto consente di comprendere come la visibilità varia lungo il percorso e, quindi, definirne la sua complessità e individuarne le aree più critiche attraverso la stima di descrittori ambientali. In Tabella 1, sono riassunti i descrittori tridimensionali dell'ambiente che è possibile calcolare sfruttando l'approccio proposto.

Tabella 1. Sintesi dei dati di input e dei descrittori numerici

Methodo	Dati iniziali	Descrittori numerici
I – analisi dei grafi di visibilità 3D	<ul style="list-style-type: none"> - nodi accessibili - griglia 3D di nodi non accessibili -connessioni dirette e indirette tra i nodi -Nuvola di punti dell'ambiente 	<p>Integrazione 3D (numero di connessioni), connettività 3D (come la variazione del volume influenza la visibilità) (Varoudis et al., 2014)</p> <p>Identificazione delle ostruzioni (linea di vista tra nodi)</p>
II – analisi delle isovist 3D	<ul style="list-style-type: none"> -nodi del percorso -isovist 3D (poliedri) - nuvola di punti dell'ambiente -campo visivo 	<p>Volume, area visibile, area occlusa, area totale, raggio Massimo, raggio minimo, raggio medio, compattezza, deviazione standard, asimmetria, coeff. di insieme 3D (van Bilsen, 2008)</p> <p>SOI (Fisher-Gweritzmann et al., 2003)</p>

4. DISCUSSIONE

Innanzitutto, si ritiene necessario verificare se la discretizzazione dello spazio sia adeguata, se generi un risultato abbastanza accurato e stimare quale potrebbe essere l'errore fatto ponendo un nodo in ogni angolo del percorso, riducendo il numero di connessioni tra i nodi e il numero di isovist. Un altro problema ancora irrisolto è quello della generazione e del calcolo di isovist a partire una nuvola di punti 3D.

Tuttavia, come suggerito da Dalton et al. (2015), una scansione LiDAR acquisita ad una certa altezza e con un certo campo visivo è di per sé un'isovist. Elaborando la nuvola di punti potrebbe essere, infatti, possibile ottenere direttamente il volume delle isovist e l'area della superficie tridimensionale. Un approccio che consente di estrarre queste informazioni è stato proposto da Verbree et al. (2003), il quale sfrutta l'algoritmo *Delaunay Tetrahedronised Irrigation Network* (DTEN) per ricostruire una superficie dalla nuvola di punti. Il metodo prende in considerazione anche le linee di osservazione, ovvero le linee di vista tra l'osservatore e i target, che sono necessarie per estrarre la rete triangolata di superficie (STIN – Surface Triangulated Irregular Network).

Ad oggi, è possibile generare facilmente rappresentazioni 3D dell'ambiente, utilizzando sensori di immagine montati anche su dispositivi di uso comune. Inoltre, i software basati su algoritmi

di Structure from Motion (SfM) consentono di stimare, senza ulteriori dati di input, ad eccezione delle immagini, le posizioni dei centri di presa delle immagini. Proprio questi ultimi, possono essere assunti come corrispondenti ai nodi di un percorso. Inoltre, i suddetti algoritmi permettono di estrarre le informazioni tridimensionali dalle immagini, mediante l'identificazione e l'analisi di punti corrispondenti tra i fotogrammi. La posizione di ciascuno di questi punti nell'immagine è nota, quindi è possibile calcolare la loro posizione nello spazio 3D per mezzo delle equazioni di collinearità. In questo contesto, possiamo supporre che le linee di vista tra le posizioni del centro dell'immagine e i punti corrispondenti coincidano con i raggi delle isovist (Figura 7).

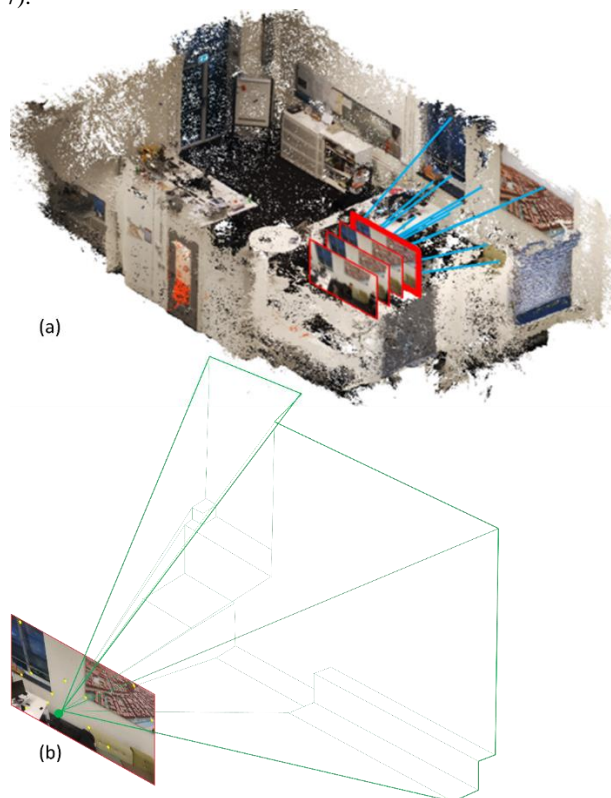


Figura 7. (a)Allineamento di alcuni fotogrammi eseguito tramite l'approccio SfM; le linee blu rappresentano la proiezione di alcuni punti di legame nello spazio; (b) Isovist 3D creata dal punto di acquisizione dell'immagine e dalla proiezione dei punti di legame.

5. CONCLUSIONI

L'approccio proposto in questo contributo, consente di stimare la complessità di un percorso attraverso l'uso combinato delle isovist e dei grafi di visibilità. Viene utilizzata come dato di input una nuvola di punti tridimensionale dell'ambiente, in cui un individuo si muove. Tuttavia, il metodo è proposto a livello teorico e deve essere convalidato in un caso di studio reale. Le attività future saranno incentrate sull'attuazione della procedura proposta e sulla sua integrazione nei modelli di evacuazione. Tale simulazione basata sull'estrazione dei descrittori dell'ambiente da dati ad alta risoluzione dovrebbe quindi essere confrontata con la percezione soggettiva corrispondente nel mondo reale. Al momento quindi, non è possibile ottenere una valutazione soggettiva dell'ambiente interno con strumenti metrici. Le valutazioni qualitative inoltre possono variare in base all'altezza e all'ampiezza del campo visivo e all'attività svolta da un osservatore specifico. I moderni sensori di acquisizione dati

permettono di acquisire informazioni tridimensionali in modo semplice e veloce, ma queste tecniche hanno ancora alcune limitazioni, ad esempio legate alla presenza di pareti con superfici uniformi e oggetti trasparenti. La sfida principale dei lavori futuri sarà lo studio di una metodologia che permetta di elaborare le nuvole di punti ed utilizzarle per la generazione e per l'analisi delle isoviste.

BIBLIOGRAFIA

- Alsadik, B., Gerke, M., & Vosselman, G. (2014). Visibility analysis of point cloud in close range photogrammetry. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(5), 9.
- Bassani, M., Grasso, N., & Piras, M. (2015). 3D GIS based evaluation of the available sight distance to assess safety of urban roads. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(3), 137.
- Benedikt, M. L. (1979). To take hold of space: isovists and isovist fields. *Environment and Planning B: Planning and design*, 6(1), 47-65.
- Chiabrando, F.; Di Pietra, V.; Lingua, A.; Cho, Y.; Jeon, J. (2017) An Original Application of Image Recognition Based Location in Complex Indoor Environments. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2017, 6, 56.
- Choi, J., & Lee, J. (2009). 3D geo-network for agent-based building evacuation simulation. In *3D geo-information sciences* (pp. 283-299). Springer Berlin Heidelberg.
- Conroy Dalton, R., Dalton, N., (2001), "OmniVista: An Application for Isovist Field and Path Analysis", *Proceedings, 3rd International Space Syntax Symposium*, Atlanta, pp. 25.1-
- Dalton, R., Dalton, N., Peverett, I., Clinch, S., & Davies, N. (2015). Using laser scanning to produce 3D isovists of real environments. In K. Karimi, L. Vaughan, K. Sailer, G. Palaiologou, & T. Bolton (Eds.), *Proceedings of the 10th Space Syntax Symposium (SSS10)*. London: University College London.
- Fisher-Gewirtzman, D., & Wagner, I. A. (2003). Spatial openness as a practical metric for evaluating built-up environments. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(1), 37-49.
- Goetz, M., & Zipf, A. (2011). Formal definition of a user-adaptive and length-optimal routing graph for complex indoor environments. *Geo-Spatial Information Science*, 14(2), 119-28.
- Helbing, D., Farkas, I. J., Molnar, P., & Vicsek, T. (2002). Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations. *Pedestrian and evacuation dynamics*, 21(2), 21-58.
- Iglesias Ó., Díaz-Vilariño L., González-Jorge H., Lorenzo H. (2016). Interurban visibility diagnosis from point clouds. *European Journal of Remote Sensing* 49 (1), 673-690.
- Marsella, S., & del Fuoco, C. N. D. V (2016). Usi innovativi degli strumenti di simulazione dell'esodo. *Valutazione e Gestione del Rischio 2016* - Roma, 13-15 settembre 2016.
- McGrath, J. E. (1970). A conceptual formulation for research on stress. *Social and psychological factors in stress*, 10, 21.
- Okaya, M., & Takahashi, T. (2014). Effect of guidance information and human relations among agents on crowd evacuation behavior. In *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012* (pp. 231-243). Springer International Publishing.
- Pelechano, N., & Malkawi, A. (2008). Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches. *Automation in construction*, 17(4), 377-385.
- Salomon, B., Garber, M., Lin, M. C., & Manocha, D. (2003, April). Interactive navigation in complex environments using path planning. In *Proceedings of the 2003 symposium on Interactive 3D graphics* (pp. 41-50). ACM.
- Santos, G., & Aguirre, B. E. (2004). A critical review of emergency evacuation simulation models.
- Turner, A., Doxa, M., O'sullivan, D., & Penn, A. (2001). From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space. *Environment and Planning B: Planning and design*, 28(1), 103-121.
- Van Bilsen, A. (2008). *Mathematical explorations in urban and regional design* (Doctoral dissertation, TU Delft, Delft University of Technology).
- Van Bilsen, A.; Stolk, E.H. (2007) The potential of Isovist-Based Visibility Analysis in: *Bekkering, H. et al. The Architectural Annual (Delft)* 010 Publishers, pages 68-73
- Vanclouster, A., De Maeyer, P., Fack, V., & Van de Weghe, N. (2014). Calculating least risk paths in 3D indoor space. In *Innovations in 3D Geo-Information Sciences* (pp. 13-31). Springer International Publishing.
- Varoudis, T., & Psarra, S. (2014). Beyond two dimensions: architecture through three dimensional visibility graph analysis. *The Journal of Space Syntax*, 5(1), 91-108.
- Verbree, E., & van Oosterom, P. J. M. (2003, October). The STIN method: 3D surface reconstruction by observation lines and Delaunay TENS. In *Proceedings of ISPRS Workshop on 3D-reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data*, Dresden, Germany.
- Wang, Z., & Zlatanova, S. (2013). An A*-based search approach for navigation among moving obstacles. In *Intelligent systems for crisis management* (pp. 17-30). Springer Berlin Heidelberg.
- Weitkamp, G. (2011). Mapping landscape openness with isovists. *Research in Urbanism Series*, 2(1), 205-223.
- Wiener, J. M., & Franz, G. (2004). Isovists as a means to predict spatial experience and behavior. In *International Conference on Spatial Cognition* (pp. 42-57). Springer Berlin Heidelberg.