



**Comando provinciale  
Dei Vigili del Fuoco  
Perugia**

**Foligno, 13 marzo 2014  
vulnerabilità mentale: gestione del soccorso e misure  
di prevenzione incendi**

# **Approccio ingegneristico: il calcolo del tempo di esodo negli scenari che coinvolgono persone con disabilità**

**Stefano Marsella - Comandante provinciale VVF- Perugia**

# ESODO IN EMERGENZA & METODI DI CALCOLO

edifici normali, luoghi di lavoro ordinari, attività normale

edifici normali, necessità di valutazioni specifiche (deroghe)

metodo tradizionale

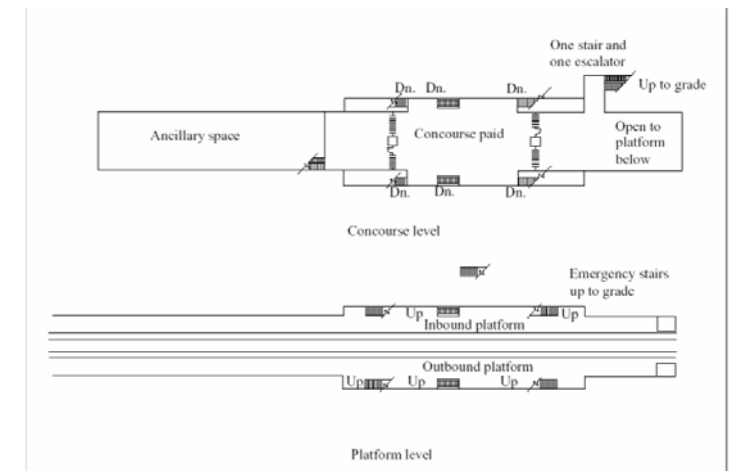
modello di flusso

modelli di movimento

modelli parzialmente comportamentali

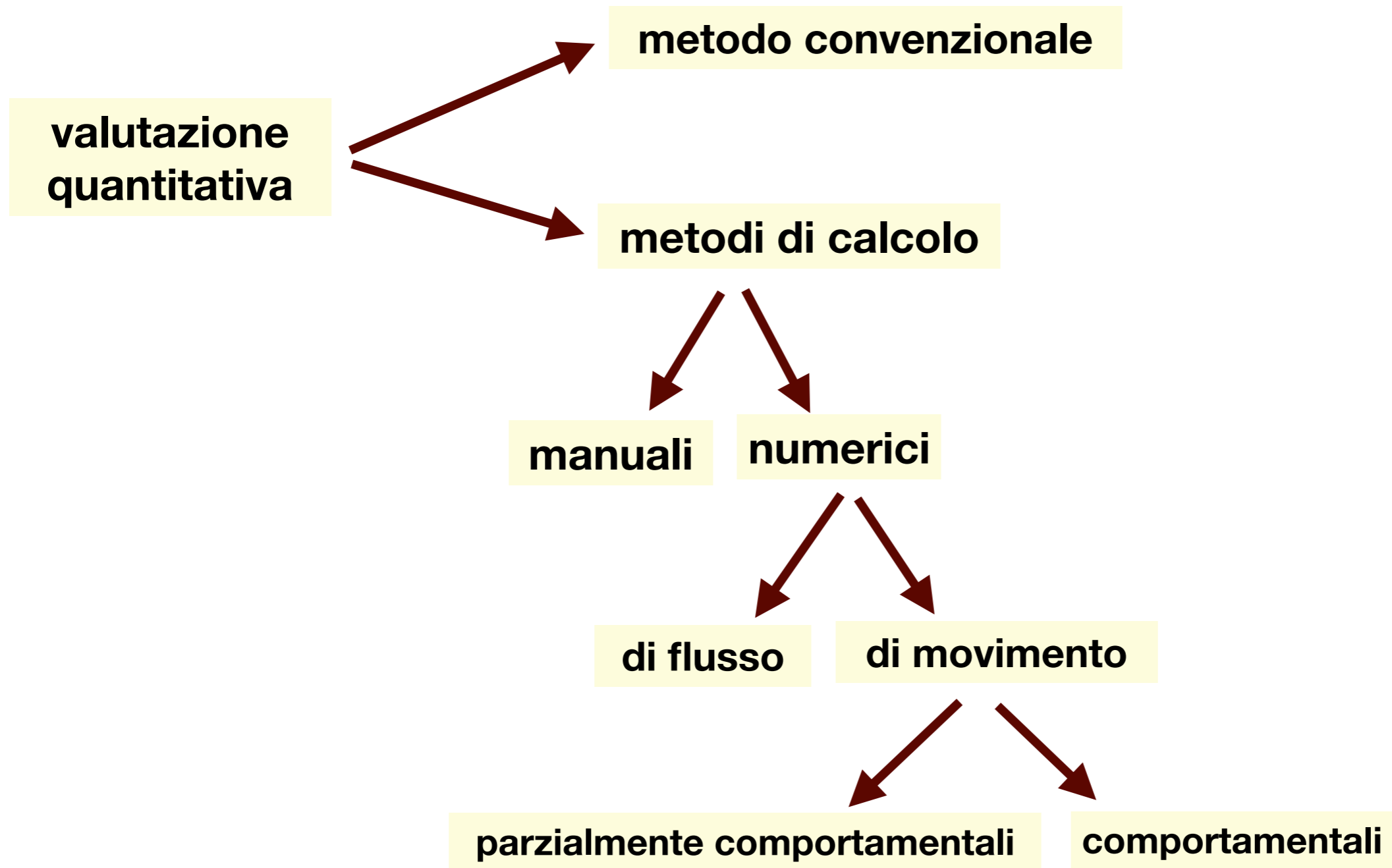
modelli comportamentali

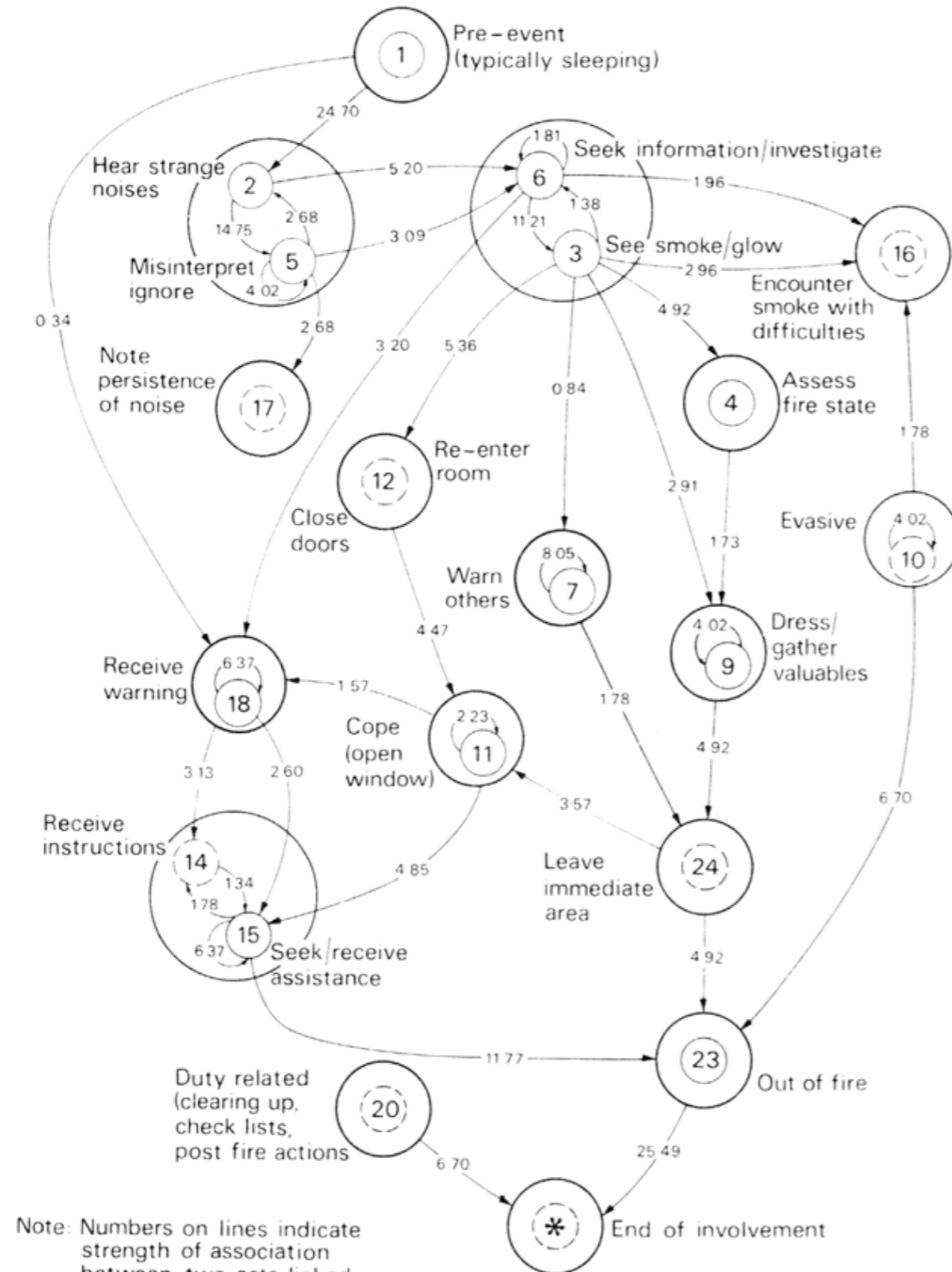
complessità



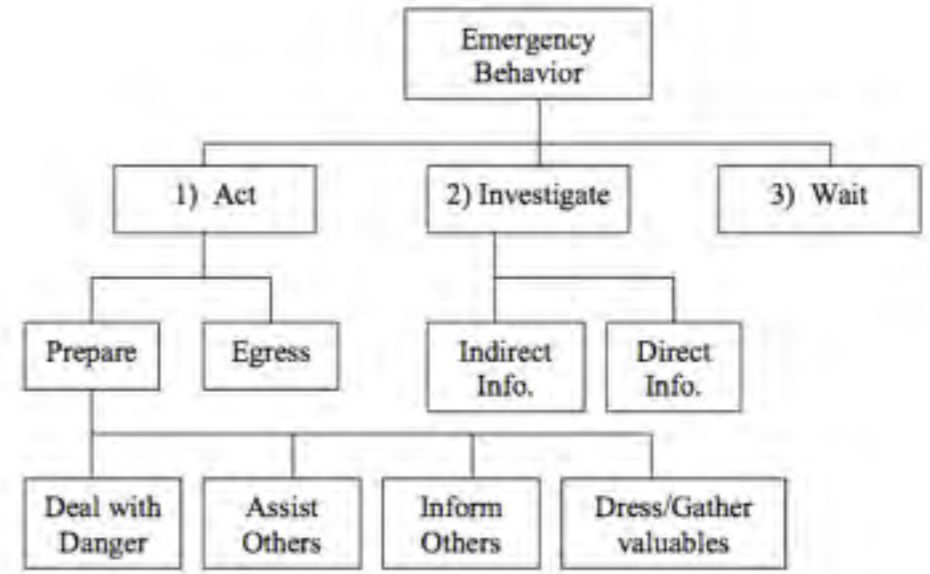
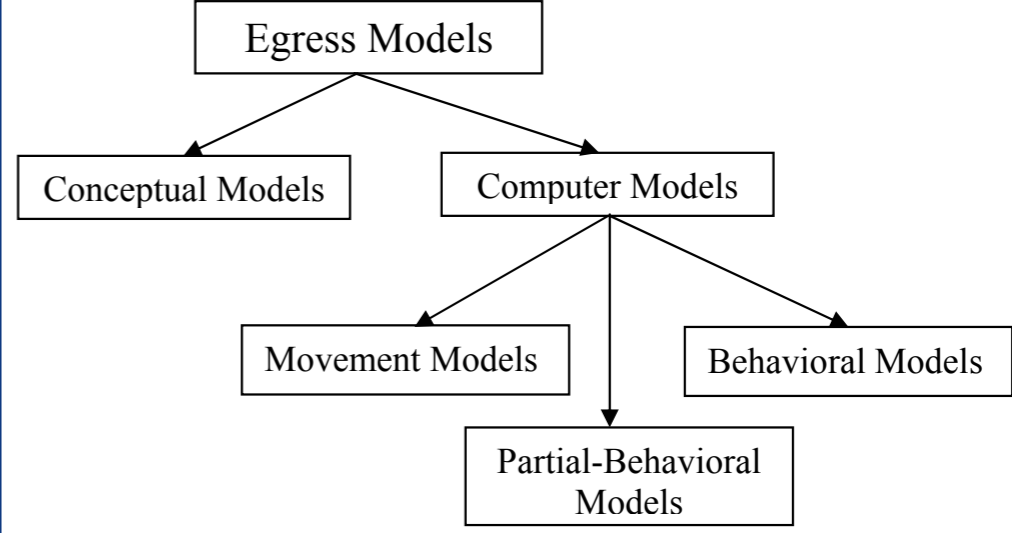
luoghi con problematiche di decisione crescenti







Note: Numbers on lines indicate strength of association between two acts linked by arrow



**In risposta a queste esigenze, esiste un grande numero di valori che possono essere calcolati per prevedere il tempo totale di esodo**

- Tempo necessario per abbandonare l'edificio;
- Tempo necessario per abbandonare il piano;
- Tempo necessario per liberare le scale;
- Tempo per compiere il percorso più lungo;
- Calcolo dell'esposizione degli individui;

$$\mathbf{t = t_1 + t_2 + t_3}$$

In cui

$t_1$  = tempo necessario per la prima persona per raggiungere un elemento di sicurezza

$t_2$  = tempo necessario al gruppo per attraversare un elemento di sicurezza

$t_3$  = tempo necessario per l'ultima persona per lasciare un dispositivo di allarme o sicurezza e raggiungere uno spazio sicuro

# La velocità

Per densità maggiori di 0,55 p/m<sup>2</sup>

$$V = k - akD$$

In cui:

a = costante = 0,266 m<sup>2</sup>/pers

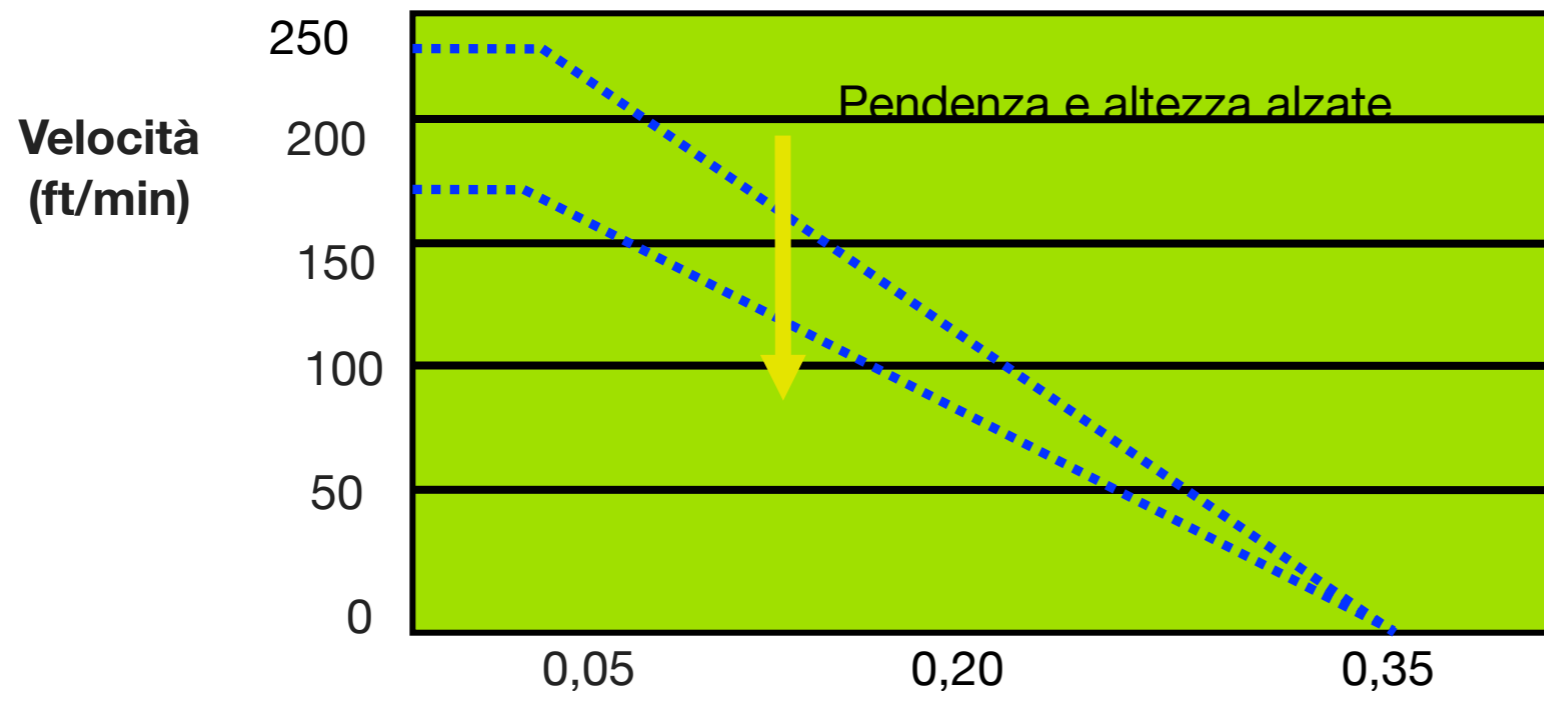
V = velocità (m/sec)

k = fattore di velocità

TABLE 5. Velocity Factor in Equations 2 and 3<sup>4</sup>

Egress Component		k (m/s)	k (ft/min)
Corridor, aisle, ramp, doorway		1.40	275
Stair Riser, mm (in.)	Stair Tread, mm (in.)		
190 (7.5)	254 (10)	1.00	196
172 (7.0)	279 (11)	1.08	212
165 (6.5)	305 (12)	1.16	229
165 (6.5)	330 (13)	1.23	242

Per densità minori di 0,55 p/m<sup>2</sup> ci sono troppo poche persone per ostacolare il flusso e si utilizza per corridoi e scale la relazione:  
 $V = 0,85k$



$$\text{ft/min} = 0,005 \text{m/s}$$

$$1/\text{ft}^2 = 10,8/\text{m}^2$$

densità  
(persone/sq ft)

## Il Flusso specifico

Per rendere omogenei i dati che rappresentano l'affollamento e la larghezza delle vie di esodo si utilizza il flusso specifico, che rappresenta il numero di persone che oltrepassano un punto della via di esodo per unità di tempo e di larghezza effettiva. È l'analogo del flusso specifico in idraulica

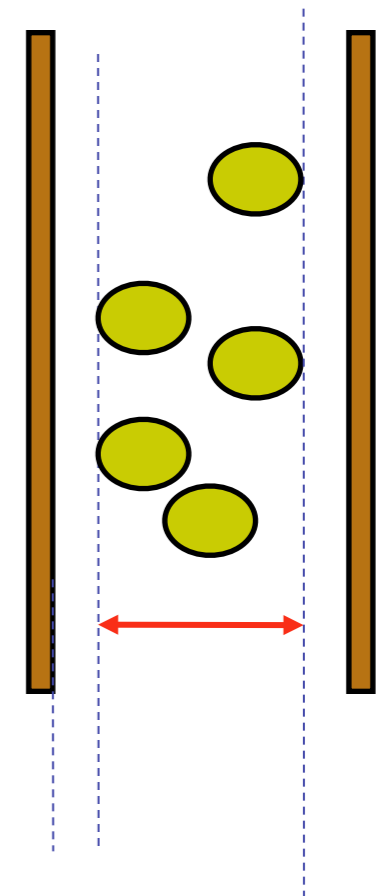
$$F_s = Dv$$

Sostituendo i termini della relazione precedente:

- Per densità maggiori di  $0,55 \text{ p/m}^2$  :  $F_s = Dv = (1-aD)kD$
- Per densità minori di  $0,55 \text{ p/m}^2$  :  $F_s = 0,85 kD$

La larghezza è intesa come larghezza effettiva, e cioè quella reale diminuita di un valore variabile  $B$ , *boundary layer*

componente	B (mm)
Sedie poltrone teatri	0
corrimano	89
ostacoli	100
Scale, porte	150
Corridoi, muri per rampe	200

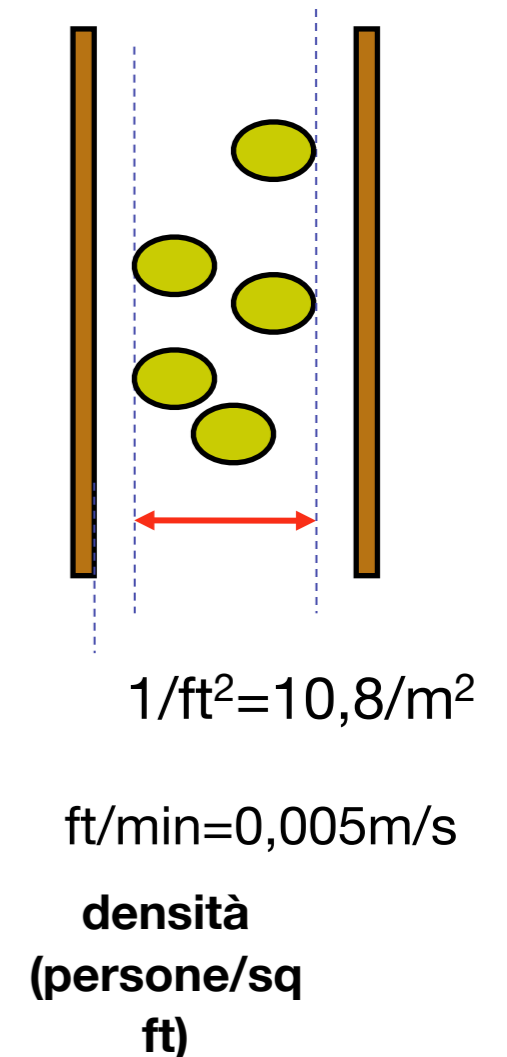
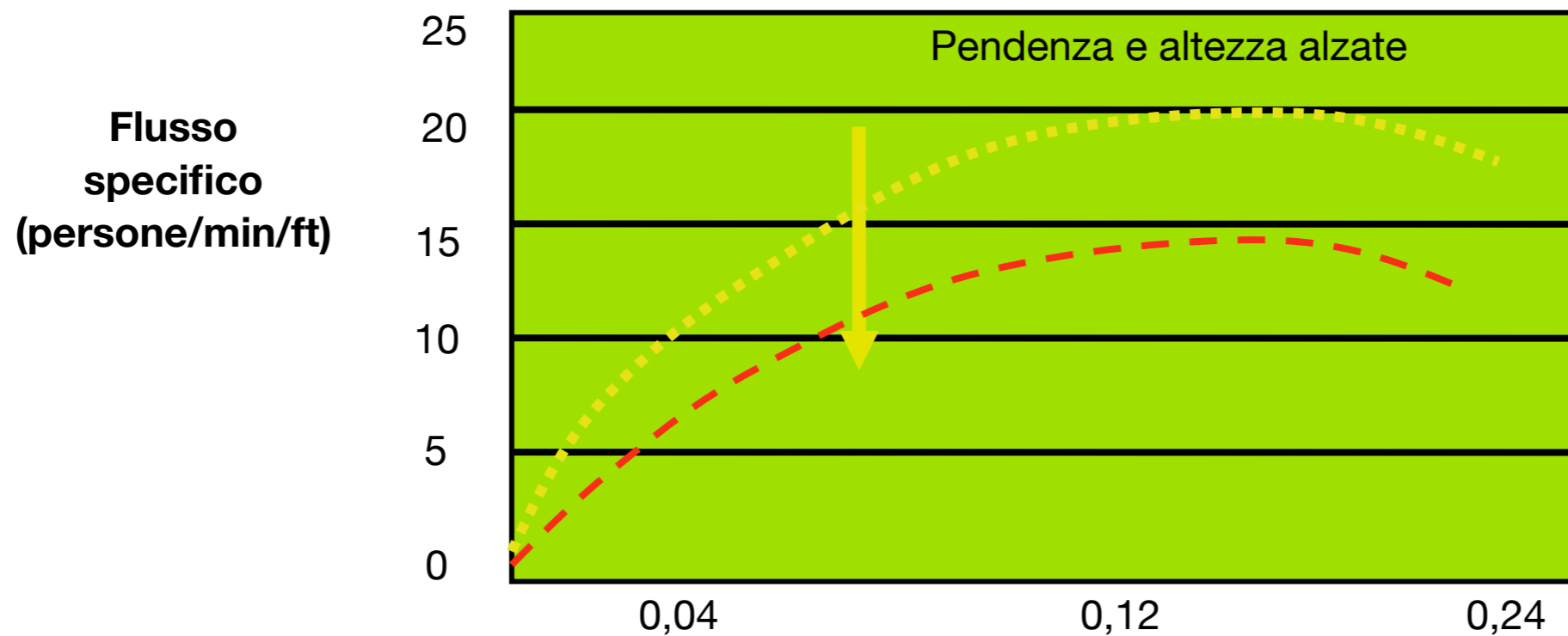


## Il Flusso specifico

Considerando il fatto che il flusso specifico è una funzione quadratica della larghezza  $D$  della via di esodo, il massimo flusso specifico si raggiunge quando la densità è pari a:

$$D_{\max} = 1/2a$$

Poiché  $a$  è indipendente dal tipo di componente della via di esodo, il flusso specifico è massimizzato alla stessa densità per tutti i componenti delle vie di esodo.





# Il Modello di flusso

La capacità di esodo dei componenti approssima una funzione lineare della larghezza effettiva della porta.

Il tempo di movimento è determinato dalla distanza da percorrere e dalla velocità, secondo la relazione tempo (s) = distanza (m) / velocità (m/s).

Sia la distanza che la velocità non sono determinati a priori. Sulla prima, infatti, è determinante la scelta della persona, mentre la seconda è funzione della densità di persone e delle loro caratteristiche. Influenzano la velocità, inoltre, il fumo e la visibilità dei percorsi, la larghezza e la pendenza degli elementi, il tipo di superficie di muri e pavimenti.

Nel modello di flusso le informazioni di base devono disporre dei dati su:

- velocità (su corridoi, rampe, scale – per queste ultime si calcola la velocità diagonale tra le testate delle rampe);
- flusso: il numero di persone che passa attraverso una particolare sezione del sistema di esodo per unità di tempo (persone/sec che oltrepassano una porta, una linea immaginaria in un corridoio ecc.);
- flusso specifico: il flusso per unità di superficie del componente di esodo (persone/sec-m di larghezza di un determinato elemento).

Componente di esodo		k (m/s)
Corridoi, rampe, passaggi, porte		1,40
Alzata (mm)	Pedata (mm)	
190	254	1,00
172	279	1,08
165	305	1,16
165	330	1,23

*Velocità media per persone con difficoltà motorie (tratta da The SFPE Task Group on human behaviour in fire – Society of Fire Protection Engineers – 2003)*

individuo	Larghezza al torace (m)	Profondità del corpo (m)	Velocità normale (m/s)
Media	0,50	0,30	1,30
Maschio adulto	0,54	0,32	1,35
Femmina adulta	0,48	0,28	1,15
Bambino	0,42	0,24	0,90
Anziano	0,50	0,30	0,80

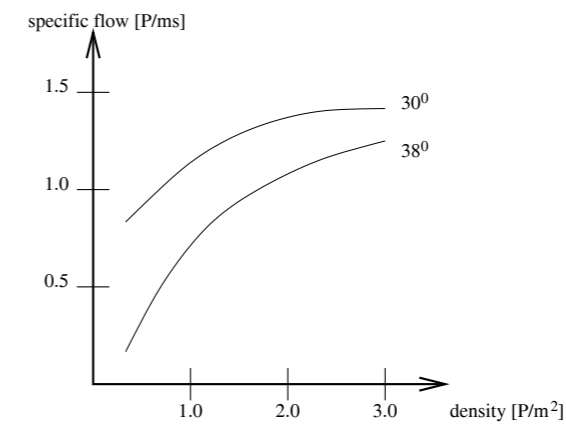
*velocità e dimensioni delle persone (tratta da Evaluation of fire safety, D Rasbah)*

caratteristiche	Velocità in piano	Scale in discesa	Scale in salita
Sedia a ruote elettrica	0,89		
Sedia a ruote manuale	0,69		
Stampelle	0,94	0,22	0,22
Bastone	0,81	0,32	0,34
Bastone o appoggio	0,51		
rollator	0,61		
Nessun aiuto	0,93		0,41
Senza disabilità	1,24	0,70	0,70

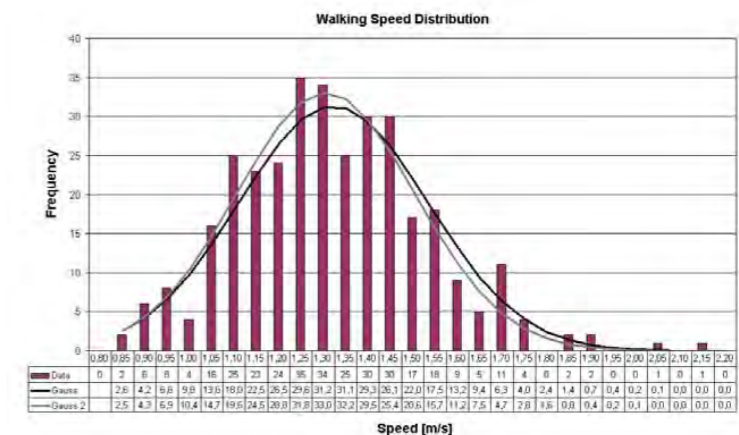
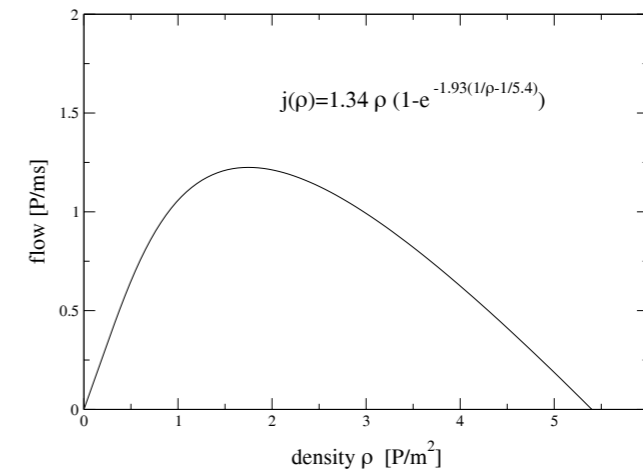
*Velocità media per persone con difficoltà motorie (tratta da The SFPE Task Group on human behaviour in fire – Society of Fire Protection Engineers – 2003)*

# I modelli di movimento

- Si concentrano sullo spostamento delle persone da un punto ad un altro dell'edificio. La legge che governa il movimento nella maggior parte dei modelli è quella della correlazione tra velocità e densità.
- In alcuni casi i modelli prevedono la possibilità di ottimizzare i risultati dell'esodo, e cioè considerano la possibilità che non tutte le persone si spostano lungo il percorso più breve ma che si distribuiscono in modo da realizzare la densità che produce il tempo di esodo più breve. In assenza di questa tecnica, i modelli di movimento seguono il criterio di spostare le persone con la minima distanza possibile.
- La maggior parte dei modelli di movimento utilizza una griglia grossolana, costituita da nodi (i locali) ed archi (la distanza tra i punti mediani dei nodi).
- La rappresentazione dell'esodo considera le persone come un gruppo omogeneo con le stesse capacità di movimento e che, quindi, si spostano fino all'uscita nel modo più rapido.
- Quindi, non si considerano le differenze dovute al comportamento delle persone.



Empirical flow-density-relation



## Modelli parzialmente comportamentali

I modelli parzialmente comportamentali calcolano in primo luogo lo spostamento delle persone, anche se **prevedono l'influenza del comportamento in un modo semplificato**, simulando il tempo di pre-movimento (distribuito tra le persone presenti), le difficoltà motorie, il sorpasso e l'effetto di fumo e calore.

La maggior parte di questi modelli ricorre alla legge che della correlazione tra velocità e densità per calcolare il movimento delle persone.

Rispetto ai modelli comportamentali quelli parzialmente comportamentali introducono le differenze tra le persone in termini fisici (dimensioni del corpo, ritardo nel movimento ecc.) piuttosto che sotto il profilo cognitivo.

## Modelli comportamentali

I modelli comportamentali prendono in considerazione **le decisioni ed il comportamento delle singole persone**, oltre al movimento verso l'uscita.

Le regole di comportamento in base alle quali le persone si muovono (ad esempio, se una persona nota del fumo nel vano scala non vi entrerà e cercherà un'altra uscita) sono definite in ciascun modello.

Quasi tutti i modelli comportamentali hanno la possibilità di assegnare probabilità alle attività svolta da ogni persona. Queste sono associate sia alla verosimiglianza di effettuazione che alla distribuzione dei tempi per ogni azione secondo la probabilità di accadimento.

# velocità di esodo sulle scale

Guidato dall'utente

Montapiani

Sedie a ruote con dispositivo per le scale

Adattatori per scale predisposti per le sedie a ruote sollevatori

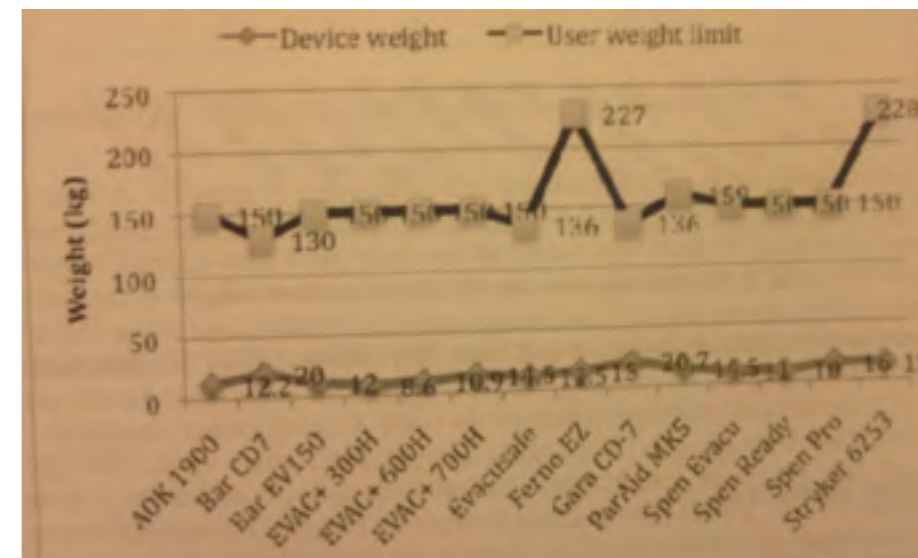
Guidato da assistente

Sedie per l'esodo

Dispositivi per trasporto sedie a ruote

Montapiani

sollevatori



Sedie a ruote con dispositivo per le scale



montascale



Adattatori per scale predisposti per le sedie a ruote



dispositivi per la discesa dalle scale

G.E. Hedman - *travel along stairs by individuals with disabilities: a summary of devices used during routine travel and travel during emergencies* – Predestrian and evacuation dynamics – Springer - pp. 109- 119 — New York 2011

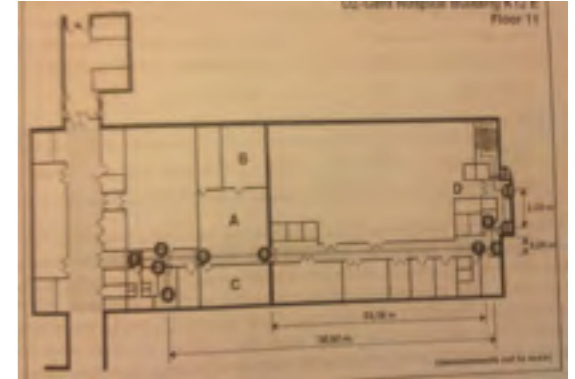
# velocità di esodo sulle scale

A seguito di una specifica sperimentazione (conformazione dei percorsi e delle scale, addestramento dei soccorritori) è emerso che :

Nelle mani di soccorritori esperti i dispositivi mostrano prestazioni notevolmente diverse tra i diversi modelli. Ad esempio, su percorsi superiori a 63 m *evac-chair* mostra una velocità pari a *carry-chair* e migliore del 50% di altri modelli, che impegnano un numero maggiore di assistenti;

Nella discesa di 11 piani il dispositivo *evac-chair* è il più veloce (0,81 m/s) di circa il 30% rispetto ad altri e richiede il minor numero di assistenti;

- *evac+chair*: orizzontale **1,5 m/s**- verticale **0,81 m/s**
- *Carry-chair*: orizzontale **1,5 m/s**- verticale 0,57 m/s
- *Barella*: orizzontale 1,1 m/s- verticale 0,55 m/s
- *Drag mattress*: orizzontale 0,9 m/s- verticale 0,63 m/s



carry-chair

evac-chair

drag mattress

barella



A.P.M. Adams, E.R. Galea – *an experimental evaluation of movement devices used to assist people with reduced mobility in high rise building evacuations* – *Predestrian and evacuation dynamics* – Springer – New York 2011 - pp. 129-138

# bambini: velocità di esodo

A seguito di una specifica sperimentazione (conformazione dei percorsi e delle scale, addestramento dei soccorritori) è emerso che :

percorso orizzontale: più del 78% dei bambini ha una **velocità compresa tra 0,41 e 0,8 m/s**, contro la velocità di riferimento usuale per gli adulti usata con bassa densità di persone (1,2-1,3 m/s)

discesa da scale: con pendenza 33° e larghezza 80 cm\* la media è **0,58 m/s** (DS 0,31), pendenza 30° e larghezza 0,91: 0,13 m/s (DS 0,06)\*\*

\* scala interna, corrimano adatto ai bambini

\*\* antincendio esterna, corrimano alto, pavimento a graticcio

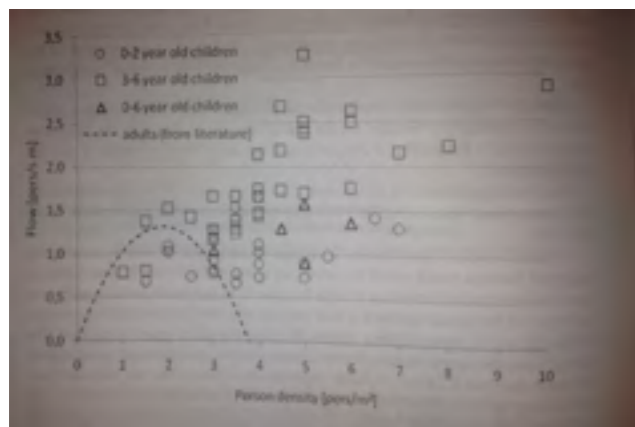
Conclusioni:

Le velocità dei bambini sono molto diverse da quelle usate per gli adulti. esse dipendono dall'età (1-2 anni e 3-6 anni) e dalla familiarità con l'ambiente)

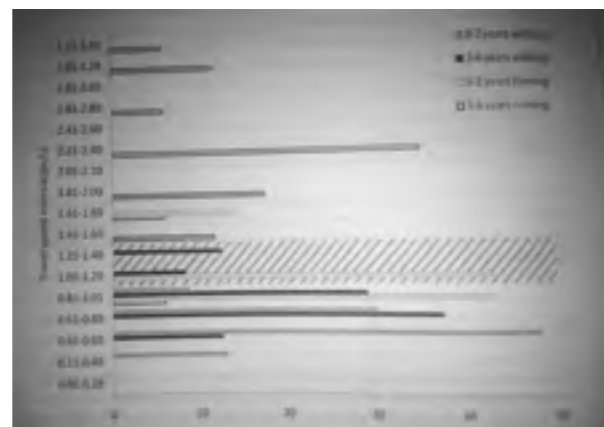
I comportamenti hanno deviazioni molto maggiori rispetto a quelle degli adulti.

Il flusso attraverso le porte è maggiore rispetto agli adulti.

Di conseguenza i modelli di esodo rappresentano male l'esodo dei bambini



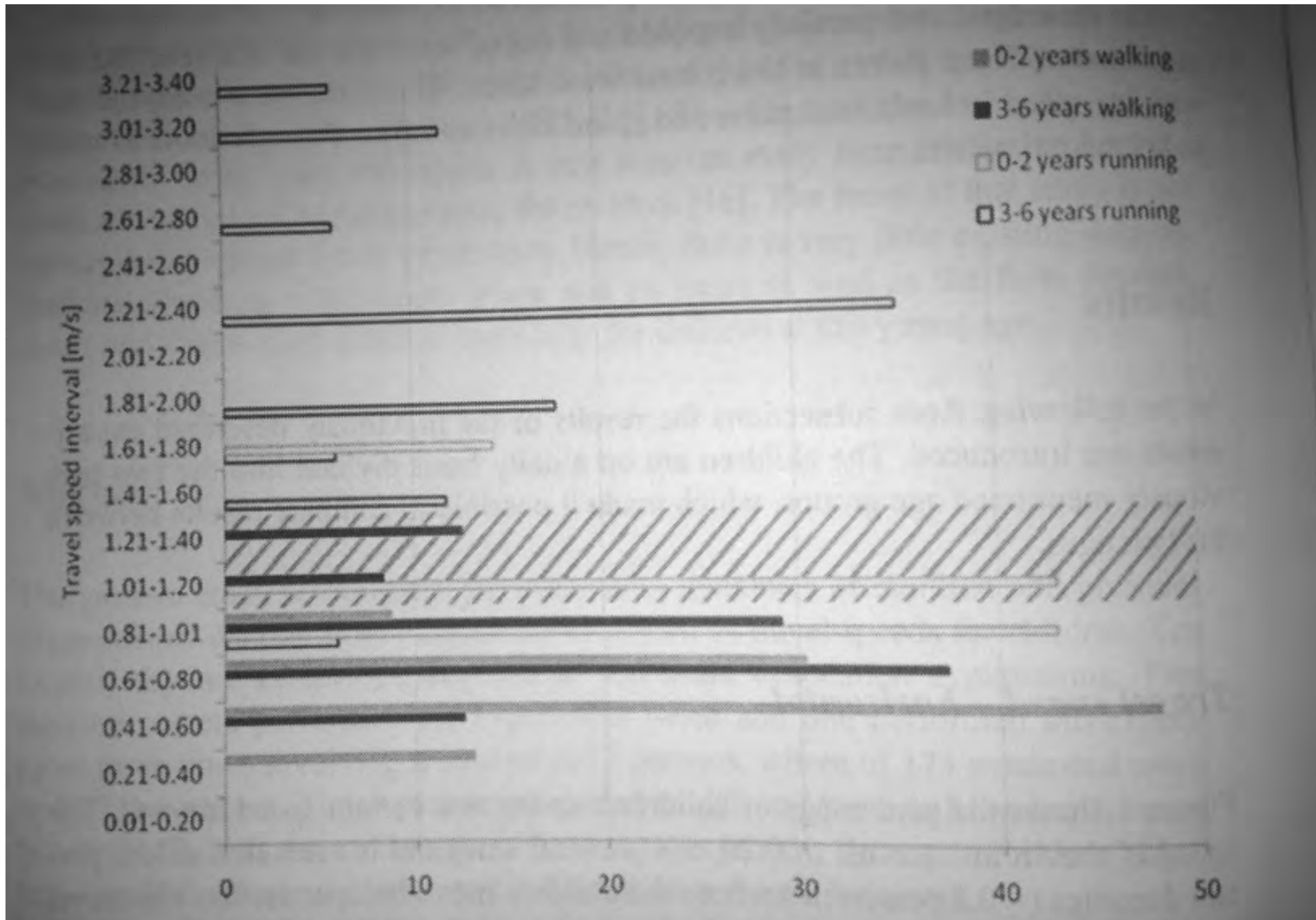
*flusso orizzontale  
attraverso una porta*



*velocità per gruppi di  
età*

A.R. Larudottir, A.S. Dederichs – *Evacuation dynamics of children – walking speeds, flows through doors in daycare centers* – Pedestrian and evacuation dynamics – Springer– New York 2011 - pp. 139-147

# bambini: velocità di esodo



*diagramma velocità/percentuale di bambini suddivisi per età*

# bambini: velocità di esodo

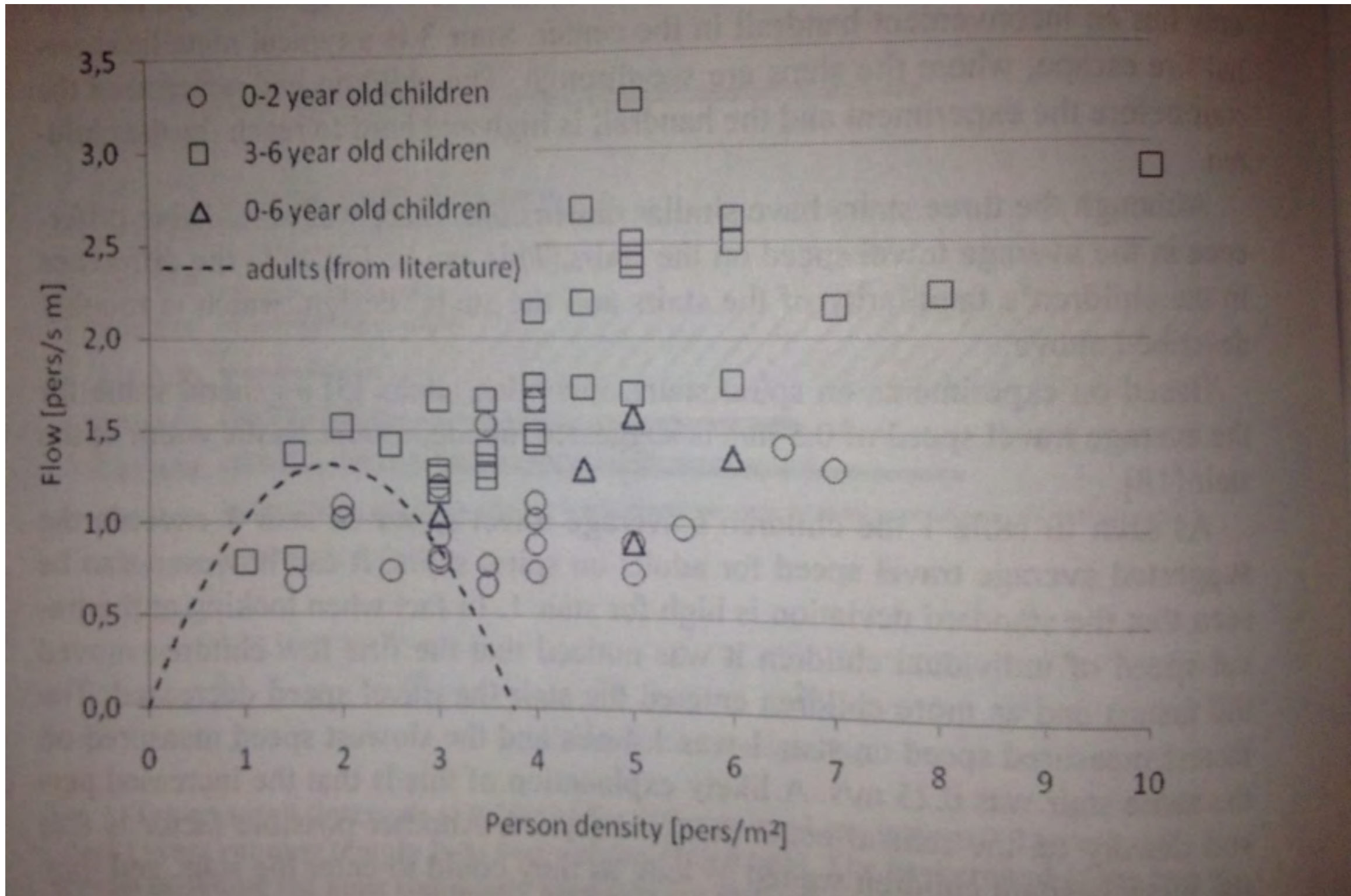


diagramma flusso/densità di bambini suddivisi per età



# uso degli ascensori

Ricerca su uso più probabile degli ascensori in emergenza e in condizioni normali

Gli elementi comuni ai due settori (uso normale/emergenza) sono:

La distribuzione degli edifici è uno scenario familiare

Scale e ascensori sono ubicati nella stessa area

Abiti o oggetti non limitano i movimenti

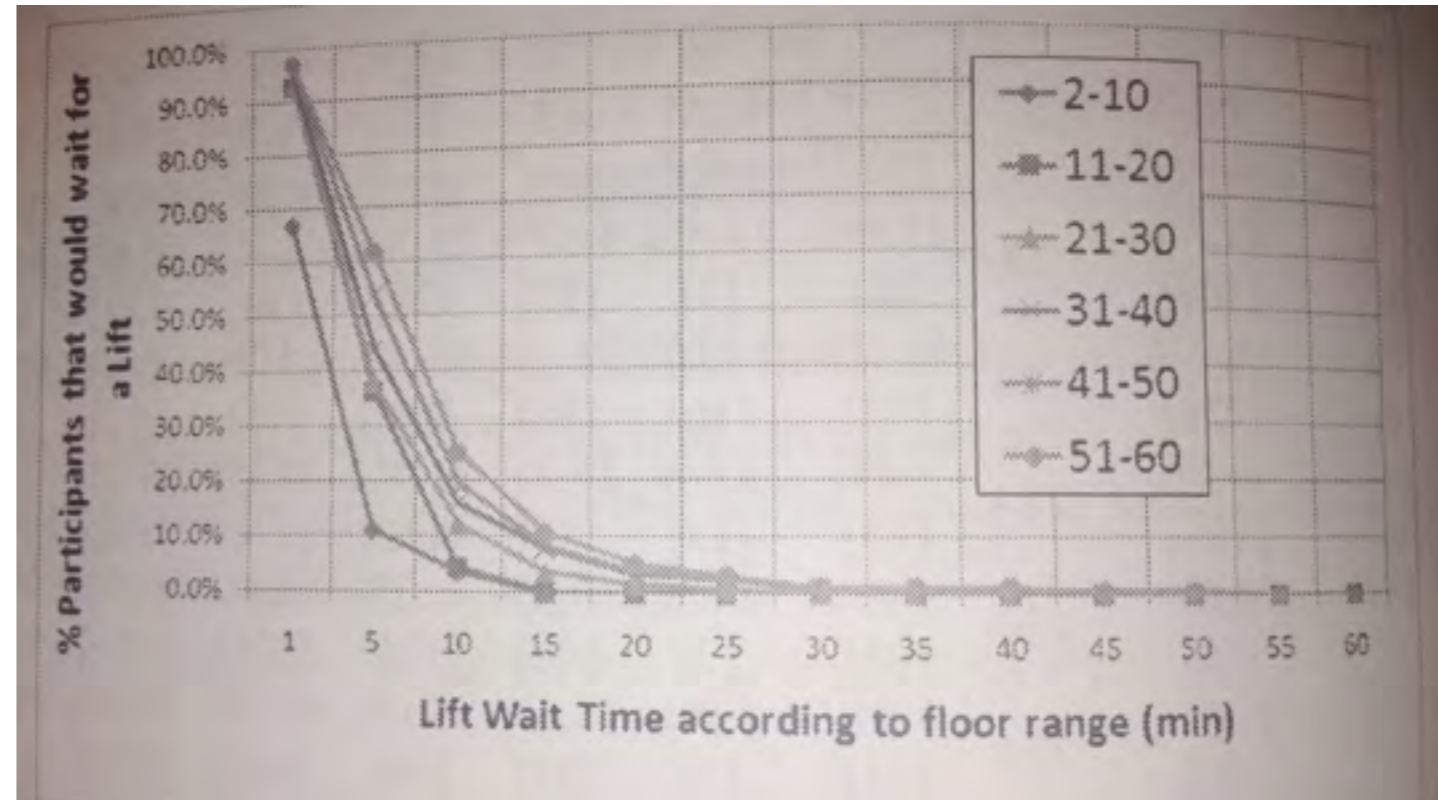
Un ascensore non è al piano e non si conosce l'attesa fino al suo ritorno

Tra 85 e 90% si sono dichiarati pronti nell'uso normale ad usare le scale. Se si è in gruppo questa percentuale diminuisce.

In condizioni di emergenza i 2/3 non userebbero l'ascensore (indipendentemente dal fatto che questo sia predisposto per l'uso durante un incendio). Di quelli che lo userebbero, meno del 10% dichiarano che lo userebbero in ogni caso, anche se il numero di piani influenza tale scelta.

Per quanto riguarda i tempi di attesa, solo poche persone si dichiarano disponibili ad attendere l'ascensore anche in caso di affollamento della zona di attesa fino a che non possano prenderlo.

Meno del 10% è disponibile ad attendere più di 15 min.



*disponibilità ad attendere l'arrivo dell'ascensore*

M.J. Kinsey, E.R. Galea, P.J. Lawrence – *Stairs or lifts? A study of human factors associated with lift/elevator usage during evacuation using an online survey*– Pedestrian and evacuation dynamics – springer – New York 2011 - pp. 627-636

# uso delle scale mobili

Sono stati svolti degli esperimenti sull'uso in emergenza delle rampe mobili. I risultati mostrano che l'impatto fisico e mentale di operazioni di blocco o di riavvio del moto delle scale mobili è sensibile solo nel caso di fermata

I rischi legati alla reazione dei pedoni e ai conseguenti incidenti possono essere limitati prevedendo una decelerazione limitata per le operazioni di blocco delle scale (0,61 – 0,45 m/s<sup>2</sup> in decelerazione, da 0,17 a 0,10 m/s<sup>2</sup> per il riavvio)

scala mobile di riferimento

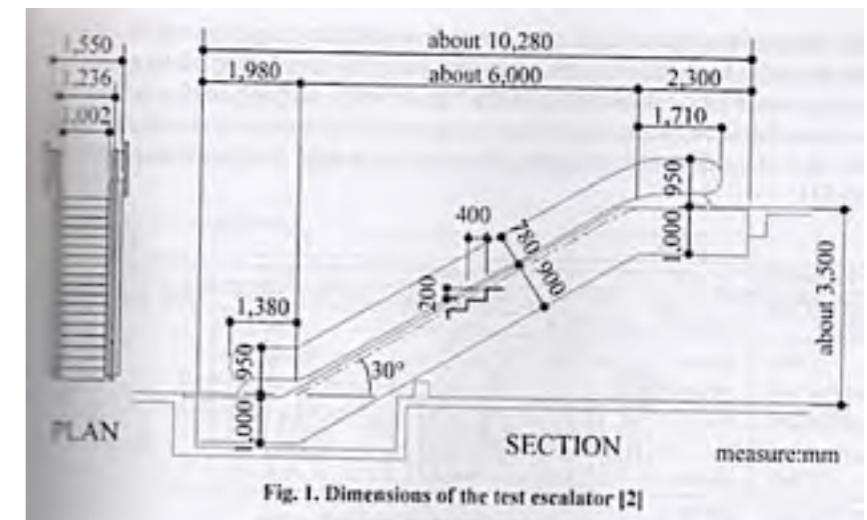
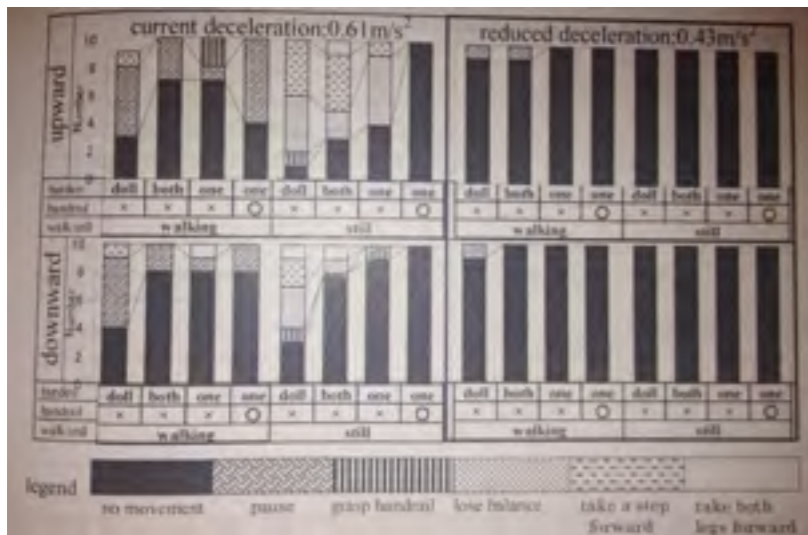
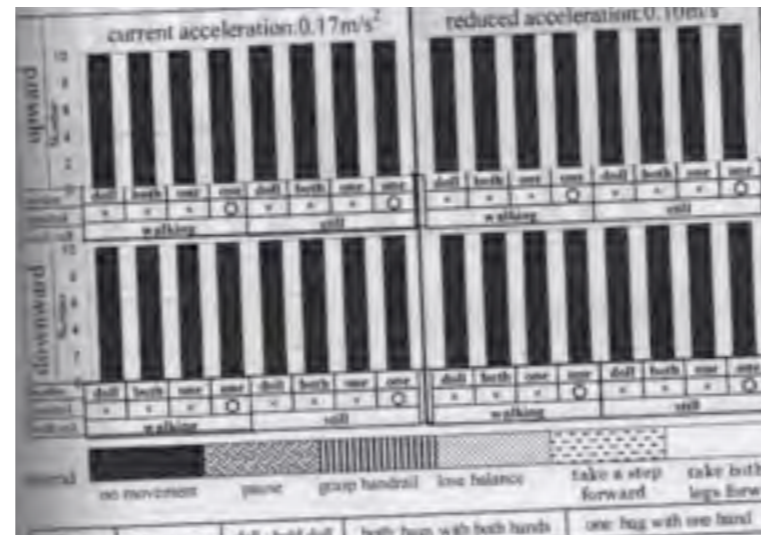


Fig. 1. Dimensions of the test escalator [2]



impatto del blocco della scala



impatto del riavvio della scala

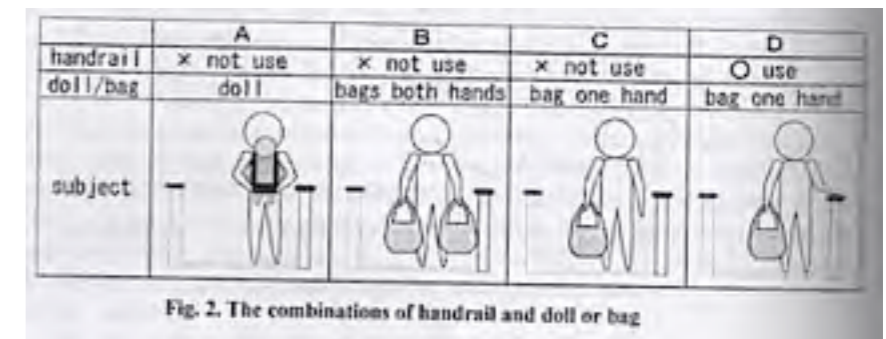


Fig. 2. The combinations of handrail and doll or bag

4 situazioni di uso del corrimano

E. Okamoto, Y. Hasemi, S. Moriyama, N. Okada – *Experiments for the feasibility study of the evacuation by moving escalator in public space*– Pedestrian and evacuation dynamics – Springer– New York 2011 - pp. 649-659

Fine