



PUMS PESCARA

Piano Urbano della Mobilità Sostenibile AGGIORNAMENTO AL DECRETO DEL MIT N.396/2019

ALLEGATO 1 Indici di Mobilità

GRUPPO DI LAVORO

Sisplan Srl: Dott. Ing. Antonio Dell'Erba – Ing. Domenico Romaniello

Ing. Simona D'Intino

Aprile 2022

Gli indici di mobilità possono essere utilizzati sia come indicatori di realizzazione (*output*) che di risultato (*outcome*) che ancora di valutazione, in quanto hanno la funzionalità di valutare sia i livelli di servizio di un determinato modo di trasporto sia di contribuire alla definizione degli scenari alternativi di Piano che per il monitoraggio dei risultati in fase di attuazione del PUMS.

Si articolano inoltre in due tipologie principali: gli indici relativi (o di efficienza) e gli indici assoluti.

Gli indici relativi esprimono il rapporto fra la situazione reale esistente e una situazione teorica desiderata. Essi sono indici adimensionali, e il loro valore è di norma compreso fra 0 e 1.

Gli indici assoluti misurano invece le grandezze che caratterizzano la qualità della mobilità nelle singole zone o nell'area nel suo complesso; tali indici sono una specie di misuratori di livello che, calcolati nella situazione attuale e nelle situazioni di progetto, contribuiscono a valutare gli effetti delle scelte di piano operate.

Gli indici sono di formulazione semplice e trattano, come valori assoluti o come rapporti, le grandezze caratteristiche della mobilità, cioè distanze, tempi, velocità dei diversi sistemi presenti sul territorio. La base dati utilizzata per il calcolo degli indici è costituita da:

- le coordinate dei centroidi delle zone in cui è stata suddivisa l'area;
- le reti dei sistemi di trasporto, schematizzate in forma di grafi costituiti da nodi e archi.

Prendendo in esame, a titolo di esempio, la rete stradale, (cioè quella per la circolazione dei mezzi privati) e la rete di trasporto pubblico, una loro completa descrizione deve contenere:

- *rete stradale*: per ogni arco (da nodo a nodo), regime di circolazione (senso unico, doppio senso), lunghezza, tempo (o velocità) di percorrenza prevalente nel periodo preso in esame (ora di punta, giornata, ecc.); per ogni nodo la resistenza di incrocio e gli eventuali divieti di svolta;
- *rete del trasporto pubblico*: per ogni arco, lunghezza e tempo come sopra, e inoltre la frequenza di passaggio dei mezzi, tempo di attesa e/o di trasbordo.

Gli strumenti di calcolo sono costituiti essenzialmente da programmi di ricerca dei percorsi minimi.

Tali programmi sono costruiti con algoritmi in grado di trattare reti di caratteristiche differenti (ad esempio sia la rete stradale, nella quale occorre tenere conto delle velocità di percorrenza degli archi, sia la rete di trasporto pubblico, dove occorre prendere in considerazione anche la frequenza delle linee, i tempi di attesa e di trasbordo, ecc.).

Il calcolo dei percorsi minimi è fatto utilizzando il tempo.

Per quanto riguarda la formulazione matematica si insiste più sul significato fisico che sulle formule vere e proprie, peraltro piuttosto semplici.

Si premettono alcuni chiarimenti sulle notazioni usate:

- (α) sta ad indicare il sistema di trasporto,
- i, j indicano le zone in cui è suddivisa l'area,
- n è il numero delle zone,
- d sta per distanza in linea d'aria,
- l sta per lunghezza del percorso minimo,
- t sta per tempo di percorrenza del percorso minimo.

Ad esempio, $l_{ij}^{(\alpha)}$ significa: lunghezza del percorso minimo calcolato sulla rete del sistema (α), per andare dalla zona i alla zona j .

INDICI DI MOBILITA' DI ZONA

a) **Lunghezza media dei tragitti interzonali:**

$$L_i^{(\alpha)} = \frac{\sum_j^n l_{ij}^{(\alpha)}}{n}$$

dove $l_{ij}^{(\alpha)}$ = lunghezza del percorso minimo con il mezzo (α) per andare dalla zona i alla zona j .

L_i è funzione della geometria della rete di trasporto. Misura quindi la "dimensione" della rete e la localizzazione della zona, rispetto all'area, indotta dalla geometria di circolazione, dalle caratteristiche delle infrastrutture e dal loro uso.

Per calcolare i valori di L_i relativi ai diversi sistemi di trasporto presi in considerazione e' necessario memorizzare le caratteristiche delle reti corrispondenti e introdurre questo dato in un programma di percorso minimo.

b) **Durata media dei percorsi interzonali:**

$$T_i^{(\alpha)} = \frac{\sum_j^n t_{ij}^{(\alpha)}}{n}$$

dove $t_{ij}^{(\alpha)}$ = tempo impiegato sul percorso minimo, con il mezzo (α) per andare dalla zona i alla zona j (da porta a porta, cioè comprendendo gli eventuali percorsi pedonali, le attese, i trasbordi, i tempi di parcheggio).

$$t_{ij}^{(\alpha)} = t_{pij} + t_{tij} + t_{vij}$$

dove t_{pij} = tempo d'ingresso e di egresso, con spostamenti pedonali dalla rete per andare dalla zona i alla zona j

t_{tij} = tempo di trasbordo per andare dalla zona i alla zona j

t_{vij} = tempo di viaggio per andare dalla zona i alla zona j

T rappresenta fisicamente le possibilità di accesso in termini di tempo reale degli abitanti della zona i in tutta l'area di appartenenza ed è funzione:

- della fluidità di circolazione
- degli eventuali trasbordi
- dei percorsi pedonali.

Chiaramente nel caso il mezzo di spostamento sia a piedi $t_{ij} = t_{pij}$

c) Velocità media dei tragitti interzonali:

$$V_{mi}^{(\alpha)} = \frac{L_i^{(\alpha)}}{T_i^{(\alpha)}}$$

$V_{mi}^{(\alpha)}$ tiene conto sinteticamente del servizio offerto nella zona i dal sistema (α) .

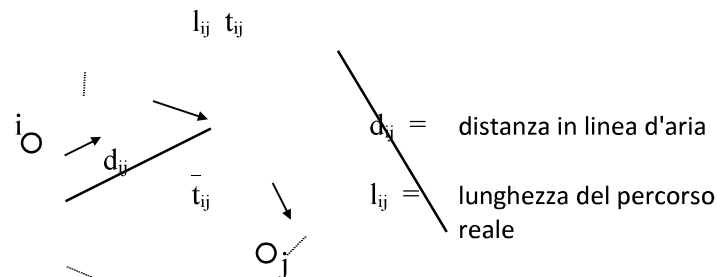
Ricordando le definizioni di $L_i^{(\alpha)}$ e $T_i^{(\alpha)}$ si può capire che $V_{mi}^{(\alpha)}$ è una velocità media da porta a porta: essa quindi tiene conto dei tempi terminali all'inizio e alla fine del viaggio (accesso alla fermata, tempo di attesa o tempo di parcheggio, ecc.), nonchè ovviamente dei tempi trascorsi sul mezzo (α) vero e proprio.

La $V_{mi}^{(\alpha)}$ può essere definita anche per ogni singolo collegamento i - j :

$$V_{mi}^{(\alpha)} = \frac{L_{ij}^{(\alpha)}}{t_{ij}^{(\alpha)}}$$

d) **Indice di accessibilità di zona:**

$$Ia_i^{(\alpha)} = \frac{\sum_j^n Ia_{ij}}{n} = \frac{\sum_j^n (\bar{t}_{ij}^{(\alpha)} / t_{ij}^{(\alpha)})}{n}$$



dove $\bar{t}_{ij}^{(\alpha)}$ = tempo teorico di percorrenze con il sistema (α) . Esso è un valore teorico di riferimento, calcolato come rapporto fra la distanza in linea d'aria d_{ij} (e quindi la minima distanza possibile) e una velocità "sperata" che può essere variamente definita.

$t_{ij}^{(\alpha)}$ è già stato definito. Ci preme solo rilevare che esso è uguale al rapporto $l_{ij}^{(\alpha)} / V_{mij}^{(\alpha)}$.

$Ia_i^{(\alpha)}$ può quindi essere scritto anche nella forma seguente (ricordando che per calcolare t_i si è usata la V_c):

$$Ia_i^{(\alpha)} = \frac{\sum_j^n \frac{d_{ij} V_{mij}^{(\alpha)}}{l_{ij}^{(\alpha)} V_c^{(\alpha)}}}{n}$$

L'indice di accessibilità misura sinteticamente la qualità del servizio offerto dal sistema di trasporto (α) alla zona i , sia dal punto di vista dell'efficienza geometrica della rete ($d_{ij} / I_{ij}^{(\alpha)}$), sia sotto l'aspetto della efficienza funzionale del sistema ($V_{mij}^{(\alpha)} / V_c^{(\alpha)}$).

e) **Indice di efficienza geometrica della rete (IER) e Indice di efficienza del servizio (IES):**

$$IER_i^{(\alpha)} = \frac{\sum_j^n \frac{d_{ij}}{I_{ij}^{(\alpha)}}}{n}$$

$$IES_i^{(\alpha)} = \sum_j^n \frac{V_{mij}^{(\alpha)}}{n \cdot V_c^{(\alpha)}}$$

Essi misurano l'efficienza della rete rispettivamente dal punto di vista geometrico e del modo in cui è svolto il servizio e possono essere di grande aiuto per individuare dove sono i maggiori margini di migliorabilità del sistema.

INDICI DI MOBILITA' DI AREA

Tutti gli indici, relativi o assoluti, fin qui descritti, possono essere calcolati anche per tutta l'area nel suo complesso.

Elenchiamo brevemente gli indici:

a) **Lunghezza media dei tragitti interzonali:**

$$L^{(\alpha)} = \frac{\sum_i^n l_i \quad \sum_j^n l_j \quad l_{ij}^{(\alpha)}}{n^2}$$

b) **Durata media dei tragitti interzonali:**

$$T^{(\alpha)} = \frac{\sum_j^n t_{ij}^{(\alpha)}}{n^2}$$

c) **Velocità media dei tragitti interzonali:**

$$V_m^{(\alpha)} = \frac{L^{(\alpha)}}{T^{(\alpha)}}$$

Ci soffermiamo sulla velocità per definire anche la velocità commerciale $V_c^{(a)}$, che differisce da $V_m^{(\alpha)}$ perchè non tiene conto dei tragitti a piedi e dei tempi morti.

Per il mezzo pubblico $V_c^{(a)}$ è desumibile dalle statistiche normalmente compilate dalle aziende, ed è pari al rapporto tra le vetture x km e le vetture x ora prodotte di servizio al pubblico.

$$V_c^{(BUS)} = \frac{BUS \times km}{BUS \times ora}$$

Per il mezzo privato il calcolo e' più complesso ed esige l'effettuazione di rilevazioni (che possono essere fatte anche solo su un campione significativo di strade) che forniscano indicazioni sui flussi (F_a) e sui tempi (t_a) di percorrenza di ogni ramo (a) della rete primaria.

La V_c per le auto può allora essere così calcolata:

$$V_c^{(auto)} = \frac{\sum_a^n F_a \cdot l_a}{\sum_a^n F_a \cdot t_a}$$

dove n è il numero dei links della rete,
 l_a la lunghezza dei links.

d) Indice di accessibilità di area:

$$IA^{(\alpha)} = \frac{\sum_i^n \sum_j^n IA_{ij}^{(\alpha)}}{n^2}$$

e) Indice di efficienza geometrica della rete (IER) e del servizio (IES)

$$IER^{(\alpha)} = \frac{\sum_i^n \sum_j^n (d_{ij} / l_{ij}^{(\alpha)})}{n^2}$$

$$IES^{(\alpha)} = \frac{\sum_i^n \sum_j^n V_{mij}^{(\alpha)}}{n^2}$$