R.E.Po.T.

Rivista di Economia e Politica dei Trasporti

Anno 2015, Numero 2

Rivista Scientifica della Società Italiana di Economia dei Trasporti e della Logistica

ISSN 2282-6599

RIVISTA DI ECONOMIA E POLITICA DEI TRASPORTI
(2015), n° 2, articolo 3, ISSN 2282-6599

Il traffico urbano:

alcune osservazioni inerenti la creazione di zone pedonali.

Fulvio Francavilla

Università degli Studi di Pavia (Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali)

Sommario: nel presente lavoro vengono esposte alcune considerazioni relative alla variazione del traffico conseguente alla introduzione di una zona pedonale all'interno di una rete viaria cittadina. Viene inoltre presentato un modello matematico, su ipotesi estremamente semplificate, che permette di stimare (in modo approssimato) l'entità delle variazioni di traffico determinate dalla realizzazione della ipotizzata zona pedonale.

Parole chiave: traffico, mobilità, zona pedonale.

1. Introduzione

Da molti anni vengono effettuati studi sul traffico concernenti principalmente gli effetti prodotti sul livello di inquinamento, sui costi (sia diretti, sia indiretti), sulla congestione delle reti viarie. A tale scopo vengono spesso utilizzati dei modelli di simulazione (a volte anche con componenti stocastiche) che possono operare sia a livello "micro", tentando di riprodurre nel dettaglio le dinamiche di tutti i veicoli interessati, sia a livello "macro", prendendo in considerazione l'entità dei flussi medi sulla base di valutazione di tipo statistico. In entrambi i casi i valori numerici iniziali, che verranno poi elaborati dal modello, possono essere reperiti (tra l'altro) da indagini sul campo, sia mediante l'utilizzo di apposito personale che rileva manualmente i dati sul traffico, sia mediante più moderni strumenti di controllo (collocati in punti di particolare interesse) che procedono alla acquisizione automatica dei valori necessari per le successive elaborazioni. Le analisi in questione prevedono l'utilizzo di mappe dettagliate delle aree oggetto di indagine, con la puntuale descrizione delle modalità che determinano i differenti flussi di traffico, ne consegue che ogni studio realizzato vale esclusivamente con riferimento alla mappa del territorio che si è utilizzata [1].

Nel presente lavoro tenteremo invece di fornire alcune indicazioni (generiche) indipendentemente dalla reale rete di traffico esistente, operando con riferimento ad una città immaginaria, all'interno della quale viene ipotizzata la creazione di un'area pedonale, al solo scopo di ottenere informazioni di massima (e quindi valide solo come prima approssimativa valutazione) che riteniamo possano però essere utili per impostare successivamente uno studio più dettagliato secondo i canoni tradizionali.

[1]) Gli studi sul traffico elaborati per una certa città, ad esempio, non possono essere usati per un'altra città, che avrà, ovviamente, flussi e modalità di traffico differenti.

Più nel dettaglio verranno esposte nel seguito (paragrafo "2") alcune considerazioni, basate principalmente su valutazioni razionali, atte a meglio precisare le possibili conseguenze connesse con l'introduzione di una isola pedonale all'interno di un rete viaria cittadina.

Nella parte successiva del presente lavoro verrà esposto (paragrafo "3") un modello matematico (più che altro, a titolo di esempio) che permette di misurare, sia pure in modo approssimato (e tenendo conto delle particolari ipotesi adottate), la possibile variazione (teorica) di traffico conseguente alla introduzione di una zona pedonale. La parte finale (paragrafo "4") presenterà alcune ulteriori considerazioni sull'argomento in oggetto..

2. Prime considerazioni sulla variazione del traffico in presenza di una isola pedonale.

La realizzazione di una isola pedonale (che d'ora in avanti chiameremo, per semplicità, zona Z) viene spesso interpretata come uno strumento utile a ridurre la quantità totale di traffico operante all'interno di una data area urbana (e per ridurre, di conseguenza, l'inquinamento dell'aria). In realtà la questione ha conseguenze assai più complesse. Valgono infatti, ad esempio, le seguenti principali osservazioni:

A) La quantità totale di traffico operante in una data area urbana diminuisce sicuramente, a seguito della introduzione di una zona pedonale, nel caso in cui tutto il traffico prima operante all'interno di tale zona Z svanisca nel nulla. Sicuramente così non è. Chi, dovendosi spostare da un luogo all'altro della città, utilizzava un percorso che prevedeva l'attraversamento della zona Z, sarà ora costretto (a meno che non possa permettersi di rinunciare al proprio mezzo di trasporto) a percorrere un percorso alternativo, sicuramente più lungo di quello precedentemente utilizzato, che probabilmente lambirà la stessa zona oggetto della nuova area pedonale. La creazione di una zona pedonale non determina quindi, di per sé, una riduzione del traffico totale, ma un semplice spostamento del traffico da una zona, ad altre zone (dalla zona Z, ad altre zone limitrofe).

B) A seguito della introduzione di una zona pedonale, il numero totale dei veicoli che operano all'interno dell'intera rete viaria diminuirà (i tragitti brevi, con partenza e destinazione entrambe all'interno della zona Z, spariranno), ma molti altri veicoli, che prima transitavano per Z, continueranno a percorrere la rete urbana per raggiungere comunque la destinazione prefissata, effettuando però un tragitto più lungo rispetto a quello antecedente all'introduzione della zona pedonale (probabilmente transitando lungo i confini della zona Z)[2]. Il risultato finale sarà che a seguito della introduzione della zona pedonale il traffico totale potrebbe risultare incrementato (e non diminuito), ovviamente a seconda del numero di veicoli che risulteranno effettivamente non più usati e della lunghezza dei tragitti alternativi che verranno invece utilizzati. Occorrerà quindi, in sede di valutazione circa la introduzione di una zona pedonale, cercare di prevedere (anche mediante opportune stime o simulazioni) la quantità di traffico che risulterà effettivamente eliminato e la quantità di traffico che risulterà invece aumentato (a seguito dell'utilizzo di tragitti di maggiore lunghezza).

C) Se da un lato è vero che l'inquinamento varia in funzione della distanza percorsa dai veicoli, è però anche vero che, ancora più che la distanza, dovrebbe risultare rilevante il tempo di percorrenza, nel senso che se per percorrere una certa distanza si impiega un tempo doppio del normale (a causa di code, ingorghi, semafori, eccetera) allora anche la quantità di inquinamento prodotto risulterà all'incirca raddoppiata. La creazione di un'isola pedonale in effetti sposta notevoli quantità di traffico dall'interno della zona Z alle vie di comunicazione poste lungo il perimetro con inevitabile peggioramento della fluidità della circolazione (e con conseguente incremento dell'inquinamento). Anche tale conseguenza dovrebbe essere valuta, anche tale osservazione induce

[2]) Quanto qui accennato verrà meglio dettagliato nel paragrafo 3.2.

a prevedere un peggioramento dell'inquinamento complessivo a seguito della introduzione dell'isola pedonale.

D) Una razionale gestione del traffico veicolare ha sicuramente tra i suoi obiettivi anche quello di ridurre l'inquinamento (atmosferico e acustico) generato dai veicoli ma questo non può essere l'unico obiettivo da prendere in considerazione[3]. I pubblici amministratori dovranno curarsi anche di altri aspetti che incidono sulla qualità della vita quali, ad esempio, il tempo impiegato per i trasferimenti (e i relativi costi), lo sviluppo delle attività economiche, l'equità nella ripartizione dei vincoli e dei vantaggi tra le persone amministrate (anche tenendo conto delle variazioni di valore associate alle zone oggetto degli interventi sul traffico), il costo del carburante utilizzato (e dei parcheggi), la sicurezza stradale, eccetera. Si tratta cioè di un problema multi-obiettivo (che dovrebbe quindi cercare di soddisfare, almeno fino a livelli accettabili, tutti i diversi aspetti della questione), ricordando che gli interessi dei singoli sono normalmente diversi dagli interessi della collettività globalmente considerata.

E) In tema di valutazione di convenienza, confrontando quindi (o cercando di confrontare) i benefici e i costi conseguenti alla introduzione di una zona pedonale occorre tenere conto (oppure no) anche del "costo" attribuibile al maggiore tempo necessario a completare i tragitti previsti?. Ad esempio, se a seguito dell'introduzione di un'isola pedonale quattromila persone impiegassero, ogni giorno, un quarto d'ora in più per i loro spostamenti e se ad ogni ora venisse attribuito un valore figurativo di dieci euro, l'importo annuo complessivo, pari a: 4.000 (persone) · 0,25 (ore) · 10 (euro) · 365 (giorni) = tre milioni e seicentocinquantamila euro, andrebbe comunque considerato come un costo conseguente all'introduzione dell'isola pedonale?. Inutile precisare che il costo (figurativo) in questione sarebbe a carico solo di quelle 4.000 persone ipotizzate, mentre i benefici generici (connessi con l'attivazione dell'isola pedonale) andrebbero a favore di tutti.

F) l'introduzione di una zona pedonale riduce inevitabilmente il numero dei posti totali disponibili per il parcheggio. La individuazione di un posto ove riuscire a parcheggiare richiederà probabilmente una più complessa ricerca (con una più elevata distanza da percorrere e un maggiore periodo di circolazione), con conseguente incremento del traffico totale e del relativo inquinamento.

Altre ulteriori considerazioni, più o meno rilevanti, potrebbero essere esposte, anche in funzione delle situazioni particolari che potrebbe essere necessario valutare e analizzare.

3. Il modello matematico.

Nel seguito presenteremo un semplice modello matematico, più che altro a titolo di esempio, che potrebbe essere utilizzato per ottenere alcune iniziali informazioni utili per uno studio più approfondito del problema. Principalmente ci si occuperà di stimare (sulla base di particolari ipotesi semplificatrici) la variazione di traffico totale in conseguenza della introduzione di una isola pedonale.

3.1 Presentazione del modello.

Il modello che verrà proposto tratterà solamente della possibile stima relativa all'incremento (o al decremento) del volume complessivo del traffico a seguito dell'introduzione di una zona pedonale (con proibizione, quindi, del transito veicolare), sulla base di particolari ipotesi

[3]) Se la riduzione dell'inquinamento fosse l'unico obiettivo, il comportamento ottimale imporrebbe allora di vietare il traffico veicolare ovunque (azzerando sia il traffico, che l'inquinamento conseguente). Così facendo si paralizzerebbe però, tra l'altro, una grande parte delle attività economiche con le ovvie inevitabili conseguenze.

semplificatrici[4].

Più nel dettaglio:

1) la zona pedonale oggetto di analisi (zona Z) verrà considerata essere di forma quadrata. Tale limitazione, a prima vista eccessivamente forzata, non pregiudica più di tanto la validità delle considerazioni che verranno esposte. In proposito si segnala che il tipo di analisi che verrà effettuata, come sarà meglio mostrato nel seguito, utilizza la somma totale delle distanze da punto a punto, di conseguenza l'utilizzo di una area di forma circolare, solitamente più opportuna per descrivere una area urbana, piuttosto che di forma quadrata, non modifica eccessivamente la validità delle osservazioni che verranno presentate, purché venga mantenuta l'uguaglianza tra le aree. Basterà quindi, nel caso in questione, sostituire al cerchio di raggio R un quadrato di lato $L=R \cdot \sqrt{\pi}$;

2) all'interno dell'area oggetto di analisi ogni veicolo potrà liberamente muoversi in qualsiasi direzione, senza vincoli di alcun tipo (non vi saranno quindi particolari vie da percorrere, ma si considereranno le distanze "in linea d'aria");

3) l'area considerata verrà descritta da una griglia, di dimensione (NxN), formata da $M=N+1$ segmenti paralleli (sia verticali, che orizzontali), collocati tra loro ad una uguale distanza U . I punti che verranno presi in considerazione saranno quelli posti in corrispondenza delle intersezione dei segmenti (nodi). Per ognuno di tali nodi verranno calcolate le distanze D da percorrere per spostarsi da un nodo ad un altro. Le distanze in questione verranno geometricamente calcolate banalmente ricorrendo al teorema di Pitagora[5]. Ad esempio, con riferimento ad un'area quadrata di dimensione (4x4), ed indicando con $a_{j,i}$ il nodo collocato in corrispondenza del j-esimo segmento orizzontale e dell' i-esimo segmento verticale, si otterrebbe una griglia formata da 5 segmenti orizzontali e da 5 segmenti verticali, la quale individuerebbe quindi 25 nodi $a_{j,i}$ (con j = 1, 2, .., 5 ; i = 1, 2, .., 5): [6]

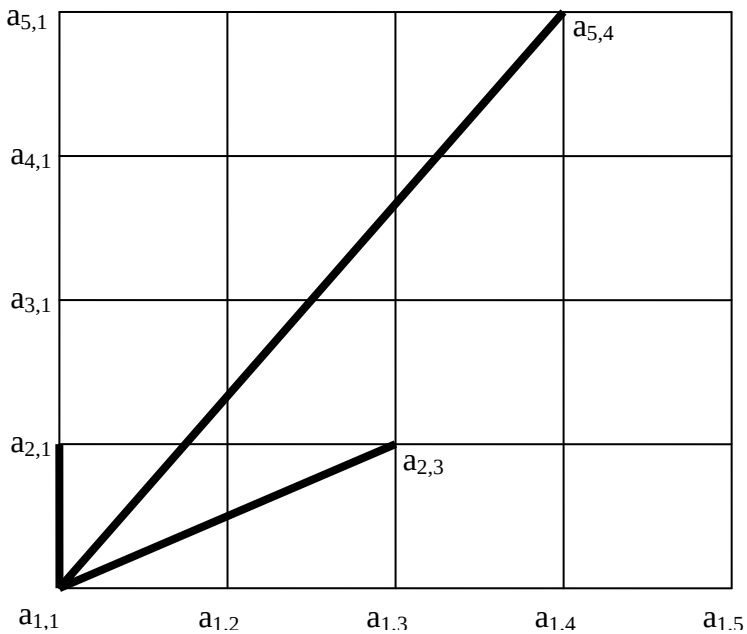

Figura 1 - Griglia di dimensione (4x4), con cinque nodi per lato; distanze tra nodi.

[4]) La misura della variazione (teorica) di traffico verrà quantificata, come dettagliatamente descritto successivamente, confrontando il valore del traffico totale (sotto le ipotesi che verranno assunte) calcolato prima, e dopo, l'introduzione di una zona pedonale (paragrafi 3.2 e 3.3). In fase di calcolo numerico verranno successivamente introdotte delle approssimazioni che modificano solo molto marginalmente il valore dei risultati attenuti.

[5]) Così operando la distanza tra due nodi, calcolata linearmente (distanza in "linea d'aria"), risulterà inferiore a quella che si avrebbe muovendosi lungo la rete di strade effettivamente esistente. Di ciò occorrerà tenere conto in seguito.

[6]) Qui e nel seguito, per semplicità espositiva, supporremo che N abbia valore pari, risultando di conseguenza dispari il valore di $M=(N+1)$. Nel seguito il vincolo: N= "valore pari" potrà essere spesso trascurato.

Distanza *D* tra nodi (con riferimento, ad esempio, al nodo iniziale $a_{1,1}$):

$$D(a_{1,1}, a_{2,1}) = 1 \quad ; \quad D(a_{1,1}, a_{2,3}) = \sqrt{2^2 + 1^2} \quad ; \quad D(a_{1,1}, a_{5,4}) = \sqrt{3^2 + 4^2}$$

4) l'ampiezza della unità di misura *U* (e quindi la distanza, in metri, tra i segmenti paralleli adiacenti che descrivono la griglia) potrà essere liberamente scelta dall'operatore a seconda degli scopi prefissati (in particolare: a seconda che si desideri un maggiore o un minore dettaglio della simulazione, anche in funzione di quanto compatta, o espansa, sia la rete di comunicazione di riferimento)[7];

5) il flusso di traffico *q* in uscita da ogni nodo (nodo di partenza) per ogni diversa possibile destinazione (nodo di arrivo) sarà uguale per tutti i nodi. Si suppone quindi (almeno inizialmente) che tutto il traffico sia uniformemente distribuito su tutto il territorio considerato[8]. Nel seguito si opererà, comunque, ponendo *q*=1 (un determinato flusso di traffico, utilizzato come unità di misura), nel senso che, volendo operare in termini generali, non interesseranno tanto i valori assoluti, ma le variazioni relative (in aumento, o in diminuzione) rispetto al traffico esistente[9];

6) la quantità di traffico relativa ad un determinato tragitto (da un nodo di partenza, ad un nodo di arrivo) sarà data dal prodotto tra il flusso di traffico (*q*) e la lunghezza del tragitto preso in considerazione (distanza *D*). Così operando, avendo posto *q*=1, la distanza tra due nodi evidenzierà anche la quantità di traffico associato a quel tragitto[10];

7) per ogni nodo $a_{j,i}$ di partenza è allora possibile costruire una tabella $A^{j,i}$ delle distanze (e quindi della quantità di traffico), di dimensione (*M*x*M*)=(*N*+1)x(*N*+1), che evidenzia la lunghezza del percorso (e quindi: il traffico relativo) tra il nodo di partenza ($a_{j,i}$) e ognuno di tutti gli altri possibili nodi di destinazione (ogni singolo elemento della tabella, indicando con $a_{h,k}$ il generico nodo di arrivo, sarà dato dalla distanza tra il nodo $a_{j,i}$ e il nodo $a_{h,k}$, misurata da: $\sqrt{(h-j)^2 + (k-i)^2}$.

Facendo nuovamente riferimento all'esempio sopra esposto, si ottiene quindi, relativamente al nodo di partenza $a_{1,1}$ (ad esempio), la sotto esposta tabella $A^{1,1}$ di dimensioni (5x5) ove ogni

[7]) In linea di massima l'ampiezza di *U* potrebbe essere fissata in modo tale da avere, mediamente (e approssimativamente), una via di accesso per ogni nodo. Ad esempio, con riferimento ad una griglia quadrata con un lato di mille metri e con vie di accesso tra loro distanziate (mediamente) di cento metri, converrà porre *U*=(100 metri) e, di conseguenza, *N*=10 (ne consegue che, in generale, il valore di *N*, che misura l'ampiezza di ogni lato della griglia, varierà, ragionevolmente, da poche unità fino ad un massimo che ben difficilmente supererà le cento unità). Segnaliamo comunque che non è fondamentale, dato il tipo di analisi, che i nodi coincidano con le reali vie di comunicazione esistenti (né in quantità, né in posizione) Se, ad esempio, con riferimento a quanto appena esposto, esistesse una via di accesso distanziata di duecento metri (invece che di cento) si potrà comunque operare ipotizzando *U*=(100 metri) e *N*=10, considerando che quella via di accesso distanziata di duecento metri verrà simulata da una coppia di due nodi adiacenti, tra loro distanziati di cento metri. Si veda anche quanto riportato nel successivo punto 5).

[8]) Il valore numerico di *q* può essere stimato elaborando opportunamente i dati disponibili relativi al traffico totale riscontrato nell'area oggetto di analisi e ripartendo quindi, in modo omogeneo, tale totale tra tutti i nodi considerati.

[9]) Il totale del flusso di traffico in uscita da ogni nodo sarà quindi pari a *q* moltiplicato per il numero dei possibili nodi di destinazione. Volendo operare con maggiore realismo si potrebbe utilizzare non un unico valore di *q* (valido per tutti i nodi), ma specifici (e anche diversi) valori $q_{i,j}$ riferiti ai relativi nodi, incrementando di conseguenza la complessità dei calcoli

[10]) Si ricorda che si sta operando con riferimento ad un determinato flusso di traffico (*q*) la cui entità numerica viene utilizzata come unità di misura. Per avere il valore assoluto del traffico basta sostituire al valore unitario associato a *q* il corrispondente effettivo valore numerico valido per l'area che si sta analizzando. Analogamente per l'unità di grandezza *U*, che viene considerata di valore unitario, ma che in realtà farà riferimento ad una prefissata distanza valutata in metri.

elemento della tabella indica la distanza (il traffico) associato al tragitto tra il nodo di partenza $a_{1,1}$ e ciascuno dei possibili nodi di arrivo[11]:

$A^{1,1}$ =

4	$\sqrt{4^2+1^2}$	$\sqrt{4^2+2^2}$	$\sqrt{4^2+3^2}$	$\sqrt{4^2+4^2}$
3	$\sqrt{3^2+1^2}$	$\sqrt{3^2+2^2}$	$\sqrt{3^2+3^2}$	$\sqrt{3^2+4^2}$
2	$\sqrt{2^2+1^2}$	$\sqrt{2^2+2^2}$	$\sqrt{2^2+3^2}$	$\sqrt{2^2+4^2}$
1	$\sqrt{1^2+1^2}$	$\sqrt{1^2+2^2}$	$\sqrt{1^2+3^2}$	$\sqrt{1^2+4^2}$
0	1	2	3	4

Figura 2 - Tabella delle distanze tra il nodo di partenza $a_{1,1}$ e ciascuno dei possibili nodi di arrivo

3.2 Variazione del traffico a seguito della introduzione di una isola pedonale.

Considereremo le conseguenze sul traffico causate dalla introduzione di una isola pedonale (con divieto quindi di attraversamento da parte dei veicoli). In particolare calcoleremo la variazione del traffico ipotizzando che i veicoli i cui tragitti attraversavano lo spazio oggetto dell'area pedonale (con origine e destinazione poste non all'interno dell'area pedonale) continuino a raggiungere la destinazione originariamente prevista utilizzando il percorso alternativo più breve lungo il perimetro dell'area pedonale. Ad esempio, con riferimento alla figura sotto riportata, per raggiungere il punto E (destinazione), partendo dal punto O (origine), occorrerà percorrere non il segmento α (che collega i punti B e C tramite la linea tratteggiata), vietato dalla presenza dell'isola pedonale, ma il percorso β, posto sul perimetro dell'isola pedonale (indicato con un tratto continuo molto evidenziato). La distanza totale da percorrere risulterà quindi incrementata della differenza tra la lunghezza di β e quella di α. Si procederà quindi calcolando la distanza da percorrere (e quindi: la quantità di traffico) tra i vari nodi posti sul perimetro dell'area pedonale sia in assenza, che in presenza, dell'isola pedonale[12].

[11]) La casella contenente il valore zero sta quindi ad indicare che la distanza tra il nodo $a_{1,1,}$ e lo stesso nodo $a_{1,1}$ è pari a zero.

[12]) Superfluo segnalare che per raggiungere il punto E, partendo dal punto O, in presenza dell'isola pedonale, non necessariamente sarà necessario, nella realtà, percorrere il tragitto β, potendo esistere altri tragitti alternativi comunque esterni alla zona pedonale. Segnaliamo però nuovamente che si intende qui operare indipendentemente dalla reale rete di trasporto esistente e con riferimento, invece, a considerazioni teoriche di massima.

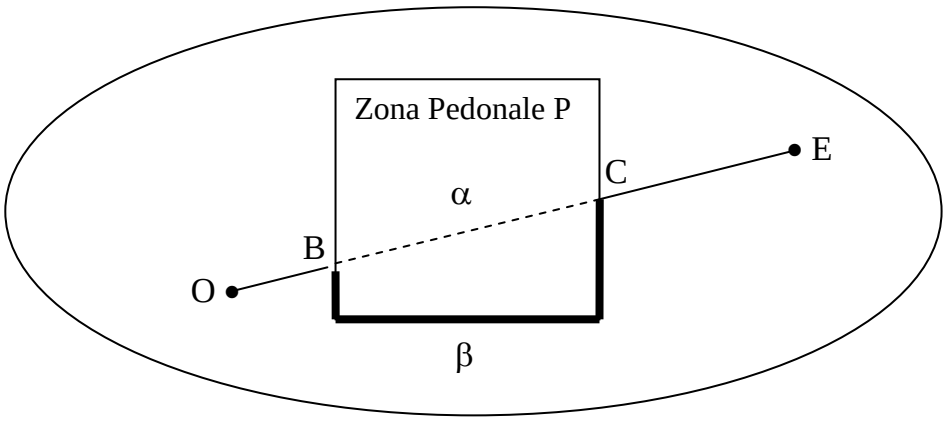

Figura 3 - Percorsi alternativi in assenza, o in presenza, di un'isola pedonale

3.3 Distanza tra i nodi posti sul perimetro della ipotizzata isola pedonale (prima della attivazione dell'isola pedonale).

Con riferimento alla possibile realizzazione di una isola pedonale, supposta delimitata da un'area quadrata di dimensione (NxN), e descritta da una griglia, come precedentemente esposto, che individua (MxM) nodi (con $M = N+1$), si vuole calcolare il totale delle distanze associate a tutti i nodi collocati sul perimetro dell'isola pedonale che si intende analizzare. I nodi collocati sul perimetro dell'area quadrata saranno allora, in totale, pari a ($4 \cdot N$). La tabella delle distanze tra uno di tali nodi[13] e ognuno degli altri nodi collocati lungo il perimetro (senza limitazioni sul traffico, in quanto l'isola pedonale non viene ancora considerata) potrà essere indicata con la sigla ${}^{P}A_{S}{}^{j,i}$, dove la lettera P, posta in apice, sta ad indicare che si stanno considerando solo i nodi collocati sul perimetro del quadrato, mentre la lettera S, posta al pedice, sta da indicare che si opera senza la presenza dei vincoli di transito dovuti alla presenza dell'isola pedonale (gli indici "j" e "i" indicano le coordinate del nodo che si sta considerando).
La tabella delle distanze ${}^{P}A_{S}{}^{1,1}$, di dimensione (MxM), riferita al nodo $a_{1,1}$, sarà allora la seguente (dove ogni valore inserito nella tabella indica la distanza tra il nodo di partenza $a_{1,1}$ e il relativo nodo di destinazione, collocato sul perimetro, cui la casella della tabella fa riferimento):

[13]) I nodi collocati lungo il perimetro avranno almeno uno dei due indici pari a 1, o pari ad M.

${}^{P}A_{S}^{1,1} =$

N	$\sqrt{N^2+1^2}$	$\sqrt{N^2+2^2}$	…..	…..	$\sqrt{N^2+N^2}$
N-1					…..
…..					…..
2					$\sqrt{2^2+N^2}$
1					$\sqrt{1^2+N^2}$
0	1	2	…..	N-1	N

Figura 4 - Tabella delle distanze tra il nodo di partenza $a_{1,1}$ e il relativo nodo di destinazione, collocato sul perimetro, in assenza di isola pedonale.

La somma di tutti i valori numerici contenuti nella tabella sopra esposta indicherà il totale del traffico avente come origine il nodo $a_{1,1.}$ Indicando tale valore con il simbolo ${}^{P}\underline{A}_{S}^{1,1}$ si ottiene:

$$
\begin{aligned}
{}^{P}\underline{A}_{S}^{1,1} &= \sum_{k=1}^{N} k + \sum_{k=0}^{N-1} k + \sum_{k=1}^{N} \sqrt{N^2+k^2} + \sum_{k=0}^{N-1} \sqrt{k^2+N^2} = \\
&= N^2 + \sum_{k=1}^{N} \sqrt{N^2+k^2} + \sum_{k=0}^{N-1} \sqrt{N^2+k^2} \,. \qquad [1]
\end{aligned}
$$

Per semplificare i calcoli conviene ora, con una trascurabile approssimazione, sostituire alle sommatorie i corrispondenti integrali definiti (l'estremo inferiore, rispetto alla sommatoria, verrà diminuito di 0,5, mentre l'estremo superiore verrà incrementato della stessa quantità). La somma dei due integrali verrà inoltre sostituito, con una seconda piccola approssimazione, da un comune integrale definito[14]. Indicheremo tale nuova grandezza con il simbolo: ${}^{P*}\underline{A}_{S}^{1,1}$:

[14]) I valori numerici sotto riportati sono stati scritti arrotondando alla quinta cifra decimale. Volendo si può operare con maggiore precisione. Tanto per dare una idea delle approssimazioni operate riferiamo che il valore esatto della somma totale di tutte le distanze (collocate sul perimetro), con N =10, riferito al nodo $a_{1,1}$ condurrebbe a 329,67658, mentre il corrispondente valore approssimato (utilizzando gli integrali, come sopra indicato), vale 329,55872.

$$ {}^{P*}\underline{A}_S^{1,1} = N^2 + \int_{+0,5}^{N+0,5} \sqrt{N^2 + k^2}\,dk + \int_{-0,5}^{N-0,5} \sqrt{N^2 + k^2}\,dk \cong N^2 + 2 \cdot \int_0^N \sqrt{N^2 + k^2}\,dk = $$

$$ = N^2 + 2 \cdot \frac{N^2}{2} \cdot \left[\sqrt{2} + \ln\left(\sqrt{2} + 1\right)\right] \cong 3{,}29558 \cdot N^2. \qquad [2] $$

Analogamente operando, con riferimento al nodo collocato a metà del lato sinistro del quadrato considerato, cioè a dire, al nodo a $^{[(M+1)/2],1}$, si ottiene:

$$ {}^{P}\underline{A}_S^{\left[\left(M+1\right)/2\right],1} = \left(2 \cdot \sum_{k=1}^{(N/2)-1} k + \frac{N}{2}\right) + \sum_{k=1}^{N} \sqrt{\left(\frac{N}{2}\right)^2 + k^2} + \sum_{k=0}^{(N/2)-1} \sqrt{N^2 + k^2} + $$

$$ + \sum_{k=1}^{(N/2)} \sqrt{N^2 + k^2} + \sum_{k=0}^{N-1} \sqrt{\left(\frac{N}{2}\right)^2 + k^2} \qquad [3] $$

da cui (per via approssimata, usando gli integrali):

$$ {}^{P*}\underline{A}_S^{\left[\left(M+1\right)/2\right],1} = \frac{N^2}{4} + 2 \cdot \int_0^N \sqrt{\left(\frac{N}{2}\right)^2 + k^2}\,dk + 2 \cdot \int_0^{N/2} \sqrt{N^2 + k^2}\,d\mathrm{k} = $$

$$ = \frac{N^2}{4} + 2 \cdot N^2 \left[\frac{\sqrt{5}}{4} - \frac{\ln\left(\sqrt{5} - 2\right)}{8}\right] + 2 \cdot N^2 \left[\frac{\sqrt{5}}{8} - \frac{\ln\left(\sqrt{5} - 1\right)}{2} + \frac{\ln(2)}{2}\right] \cong $$

$$ \cong N^2 \left[\frac{1}{4} + 2 \cdot 0{,}739471 + 2 \cdot 0{,}520114\right] = 2{,}76917 \cdot N^2 \qquad [4] $$

Con riferimento, infine, al generico nodo di partenza $a_{j,1}$ (collocato sul lato sinistro del quadrato, si ottiene, per j = 1, 2, …, (M+1)/2:

$$ {}^{P}\underline{A}_S^{j,1} = \left[\sum_{k=1}^{N-(j-1)} k + \sum_{k=0}^{j-1} k - (j-1)\right] + \sum_{k=1}^{N} \sqrt{\left[N - (j-1)\right]^2 + k^2} + $$

$$ + \left[\sum_{k=1}^{N-(j-1)-1} \sqrt{N^2 + k^2} + \sum_{k=0}^{j-1} \sqrt{N^2 + k^2}\right] + \sum_{k=0}^{N-1} \sqrt{(j-1)^2 + k^2} \qquad [5] $$

e quindi (per valori approssimati):

$$ {}^{P*}\underline{A}_{S}^{j,1} = \left[\int_{0,5}^{N-(j-1)+0,5} k\,dk + \int_{-0,5}^{j-0,5} k\,dk - (j-1) \right] + \int_{0,5}^{N+0,5} \sqrt{\left[N-(j-1)\right]^2 + k^2}\,dk + $$

$$ + \left[\int_{0,5}^{N-(j-1)-0,5} \sqrt{N^2+k^2}\,dk + \int_{-0,5}^{j-0,5} \sqrt{N^2+k^2}\,dk \right] + \int_{-0,5}^{N-0,5} \sqrt{(j-1)^2+k^2}\,dk \qquad [6] $$

La somma totale delle distanze ${}^{P}\underline{A}_{S}^{T}$, riferite a tutti i quattro lati del quadrato, potrà allora essere ottenuto moltiplicando per quattro il totale delle distanza associate agli *N* nodi collocati su ogni lato[15]:

$$ {}^{P}\underline{A}_{S}^{T} = 4 \cdot \left[2 \cdot \left(\sum_{j=1}^{\frac{M-1}{2}} {}^{P}\underline{A}_{S}^{j,1} \right) + {}^{P}\underline{A}_{S}^{\left(\frac{M+1}{2}\right),1} - {}^{P}\underline{A}_{S}^{1,1} \right]. \qquad [7] $$

Con riferimento invece agli integrali si otterrà, analogamente a quanto già mostrato, la scrittura sostanzialmente equivalente ove al posto del simbolo "P" dovrà essere utilizzato il simbolo "P*":

Il calcolo numerico di ${}^{P*}\underline{A}_{S}^{T}$ non risulta particolarmente agevole, dovendo operare sulla somma di integrali definiti (per i diversi valori di *N* che si vorrebbe ipotizzare), ma qualunque discreto software di calcolo numerico utilizzabile su un personal computer fornirà abbastanza facilmente il valore ricercato. Segnaliamo comunque al riguardo che è possibile ottenere valori approssimati (con un ottimo livello di precisione) ricorrendo alla seguente procedura:

a) ad ogni elemento ${}^{P*}\underline{A}_{S}^{j,1}$ viene sostituito il valore ${}^{P*}\underline{A}_{S}^{Med,1}$ ottenuto dalla media (aritmetica) tra

${}^{P*}\underline{A}_{S}^{1,1}$ e ${}^{P*}\underline{A}_{S}^{\left[(M+1)/2\right],1}$ (i cui valori numerici sono riportati nelle espressioni [2] e [4]) :

[15]) I valori di traffico riferiti ai vari nodi di un certo lato sono ovviamente gli stessi quando ordinatamente considerati rispetto ad un altro lato del quadrato. Con particolare riferimento ad uno specifico lato, i valori di traffico associati ai diversi nodi, per evidenti questioni geometriche, assumeranno valore simmetrico rispetto al nodo centrale ($a_{(M+1)/2\,,\,1}$), così che il valore di traffico associato al primo nodo sarà uguale al valore di traffico associato all'ultimo nodo, il valore riferito al secondo nodo sarà uguale a quello del penultimo, eccetera. In sede di calcolo ci si può quindi limitare, con riferimento ad un lato del quadrato, a quantificare i valori di traffico dei nodi compresi tra il primo ($a_{1,1}$) e quello mediano ($a_{(M+1)/2\,,\,1}$). Segnaliamo inoltre, in proposito, che la formula sopra esposta, relativa al valore di traffico per il generico nodo $a_{j,1}$, vale quando scritto utilizzando le sommatorie, per *N* pari e per j ≤ (*N*-1); quando invece scritta utilizzando gli integrali le limitazioni appena esposte possono essere rimosse.

$$ {}^{P*}\underline{A}_{S}^{Med,1} = \frac{{}^{P*}\underline{A}_{S}^{1,1} + {}^{P*}\underline{A}_{S}^{[(M+1)/2],1}}{2} = \frac{3{,}29558 \cdot N^{2} + 2{,}76917 \cdot N^{2}}{2} = 3{,}032375 \cdot N^{2} \qquad [8] $$

b) alla somma totale delle distanze ${}^{P}\underline{A}_{S}^{T}$ [7] viene sostituito il valore (approssimato) ${}^{P}\underline{\underline{A}}_{S}^{T}$:

$$ {}^{P}\underline{\underline{A}}_{S}^{T} = 4 \cdot N \cdot \left(3{,}032375 \cdot N^{2}\right) = 12{,}1295 \cdot N^{3}. \qquad [9] $$

c) volendo ottenere un ancora maggiore livello di precisione è possibile applicare un fattore di correzione K ai valori ottenibili con la sopra esposta procedura allo scopo di tenere conto del fatto che il valore medio utilizzato ($3{,}03237 \cdot N^{2}$) è stato ottenuto mediante una semplice combinazione lineare tra i due valori presi in considerazione. Poiché si è in presenza di una funzione leggermente concava, il dato medio utilizzato sovrastima leggermente l'esatto valore che dovrebbe essere sostituito nell'espressione per mantenere lo stesso risultato finale.[16]

3.4 Distanza tra i nodi posti sul perimetro in presenza di un'isola pedonale.

Con riferimento alla possibile realizzazione di una isola pedonale, supposta delimitata da un'area quadrata di dimensione (NxN), la distanza tra un qualsiasi nodo posto sul perimetro del quadrato, e gli altri nodi (anche essi posti sul perimetro), potrà essere indicata con il simbolo ${}^{P}A_{V}^{j,i}$, dove la lettera P, posta in apice, sta ad indicare che si stanno considerando solo i nodi collocati sul perimetro del quadrato, mente la lettera V, posta al pedice, sta da indicare che si sta operando in presenza dei vincoli di transito dovuti alla presenza dell'isola pedonale. In tale situazione, come già precedentemente esposto, il tragitto da percorrere non potrà allora attraversare la zona pedonale Z (delimitata da un quadrato), ma occorrerà spostarsi lungo il perimetro.

La tabella delle distanze ${}^{P}A_{V}^{1,1}$, di dimensione (MxM), riferita al nodo $a_{1,1}$, sarà allora la seguente (dove ogni valore inserito nella tabella indica la distanza tra il nodo di partenza $a_{1,1}$ e il relativo nodo di destinazione, posto sul perimetro, cui la casella della tabella fa riferimento):

[16]) Ad esempio: con N=10 il valore esatto della somma totale di tutto il traffico relativo a tutti i nodi collocati sul perimetro del quadrato ammonta (per valori arrotondati all'unità) a 11.785 mentre l'analogo valore ottenuto con la procedura sopra esposta (approssimata) fornisce il valore di 11.789..

${}^{P}A_{V}^{1,1} =$

N	N+1	N+2	…..	2·N-1	2·N
N-1					2·N-1
…..					…..
2					N+2
1					N+1
0	1	2	…..	N-1	N

Figura 5 - Tabella delle distanze tra il nodo di partenza $a_{1,1}$ e il relativo nodo di destinazione, collocato sul perimetro, in presenza di isola pedonale.

La somma di tutti i valori numerici contenuti nella tabella sopra esposta indicherà il totale del traffico avente come origine il nodo $a_{1,1.}$ Indicando tale valore con il simbolo ${}^{P}\underline{A}_{V}^{1,1}$ si ottiene:

$$ {}^{P}\underline{A}_{V}^{1,1} = 2 \cdot \sum_{k=1}^{2N-1} k + 2 \cdot N = 2 \cdot \left[\frac{2N}{2} \cdot (2N-1) \right] + 2N = 4 \cdot N^{2} \ . \qquad [10] $$

Il valore così ottenuto, calcolato con riferimento al nodo $a_{1,1}$, sarà valido anche per tutti gli altri nodi collocati sul perimetro del quadrato trattandosi semplicemente di una traslazione del punto di partenza iniziale, restando immutate le distanze tra il nodo di partenza e tutti gli altri nodi.

La somma totale delle distanze ${}^{P}\underline{A}_{V}^{T}$, riferite a tutti i nodi del quadrato, potrà allora essere facilmente ottenuta moltiplicando il valore di ${}^{P}\underline{A}_{V}^{1,1}$ per il numero dei nodi in considerazione (4·N):

$$ {}^{P}\underline{A}_{V}^{T} = (4 \cdot N) \cdot {}^{P}\underline{A}_{V}^{1,1} = (4 \cdot N) \cdot \cdot \left(4 \cdot N^{2} \right) = 16 \cdot N^{3} \ . \qquad [11] $$

4. Alcune ulteriori considerazioni sulla variazione del traffico in conseguenza della introduzione di una isola pedonale.

Con riferimento alla possibile realizzazione di una isola pedonale Z, oltre a quanto già brevemente segnalato nelle generiche considerazioni generali già esposte nel secondo paragrafo ("prime considerazioni sulla variazione del traffico in presenza di una isola pedonale"), si ottiene quindi che, sulla base del modello matematico successivamente esposto (caratterizzato dalle ipotesi adottate, molto semplificatrici, e quindi assai approssimative), si avrebbe un incremento del traffico totale che passerebbe da un valore pari a $12{,}1295 \cdot N^3$ ad un valore di $16 \cdot N^3$, con un incremento quindi del 32% circa. Certo, il modello matematico è assai grezzo e non tiene conto di quella che è la vera realtà delle rete viaria, inoltre non vengono considerati alcuni effetti correlati. Ad esempio non si tiene conto del fatto che il traffico operante unicamente all'interno della zona Z (con origine e destinazione entrambe all'interno della sona pedonale) risulterebbe annullato, anche se tale aspetto dovrebbe risultare abbastanza marginale dato che difficilmente viene utilizzato un mezzo di trasporto per percorrere tragitti di lunghezza molto breve (sempre all'interno della zona pedonale).

Al di là dei valori numerici ottenuti (sicuramente approssimativi), risultano comunque accettabili le seguenti considerazioni (in parte riprese dal paragrafo "2" e qui succintamente richiamate per completezza espositiva):

- la realizzazione di una zona pedonale non riduce, di per sé, la quantità di traffico totale, ma "sposta" traffico da una zona (quella pedonale) ad altre zone (principalmente: quelle limitrofe alla zona pedonale) con conseguente assai probabile incremento tendenziale del volume totale di traffico;

- le zone limitrofe all'area pedonale, a seguito dell'incremento di traffico, risulteranno più congestionate; la velocità di scorrimento dei veicoli si ridurrà e aumenterà di conseguenza l'inquinamento;

- a corona della zona pedonale si avranno problemi connessi con il parcheggio (per chi vorrà avvicinarsi il più possibile alla zona pedonale, per poi proseguire a piedi). Ma parcheggi insufficienti (come naturalmente sarà) determineranno ulteriori spostamenti alla ricerca di un parcheggio libero, con ulteriore traffico (e ulteriore inquinamento) [17];

- la gestione del traffico, come già segnalato, è un problema di tipo multi-obiettivo, che dovrebbe quindi prendere in considerazione molti aspetti tra loro correlati. Con la creazione di una zona pedonale, da un lato, si ottiene, ad esempio, l'ottimo risultato di rendere molto più vivibile una spazio pubblico (solitamente di grande pregio, con benefici indiscutibili per la popolazione), dall'altro non sembra però opportuno penalizzare eccessivamente chi, per tanti motivi, utilizza (deve utilizzare) un mezzo di trasporto. Il vero obiettivo, da questo punto di vista, ha a che fare con la sostituzione (volontaria) del mezzo privato, con il mezzo pubblico (assai meno inquinante). Occorre quindi, ad esempio, che la rete dei trasporti pubblici venga analizzata e implementata fino al punto da rendere il suo utilizzo più conveniente (in senso globale) rispetto all'uso del mezzo di trasporto privato. In proposito ricordo che possono essere costruiti dei modelli (anche di simulazione) che individuano i tragitti ottimali delle linee di trasporto, il numero e la posizione delle fermate, le frequenze dei passaggi (anche con modalità diverse a seconda degli orari), osservando in

[17]) Nei comuni capoluogo si contano in media (nel 2013) 55,2 stalli di sosta a pagamento su strada ogni mille autovetture circolanti (erano 51 nel 2011). [Mobilità Urbana (2015) – Anno 2013, *Statistiche Focus*, ISTAT]

proposito che un fattore assai importante per il gradimento dell'uso del mezzo pubblico è la puntualità dei passaggi alle diverse fermate;

- la introduzione di una zona pedonale non garantisce quindi necessariamente una riduzione del traffico locale (anzi, potrebbe benissimo condurre ad un peggioramento della situazione complessiva). Quello che dovrebbe invece servire è la sostituzione di traffico privato (molti mezzi di trasporto, ciascuno dei quali serve spesso una, o poche persone) con traffico pubblico (pochi mezzi di trasporto che trasportano un elevato numero di persone). Nevralgico risulta quindi la ottimizzazione e la gestione della rete di trasporto pubblico, che dovrebbe essere in grado di risultare più conveniente del singolo trasporto privato, sia nei costi, sia nei tempi di trasferimento[18]. Lo studio approfondito dei percorsi delle linee urbane (di trasporto pubblico), della localizzazione delle fermate, delle frequenze dei passaggi dei mezzi pubblici dovrebbe essere ottimizzato fino al punto di offrire un naturale vantaggio competitivo rispetto al trasporto privato, ovviamente tenendo conto dei costi relativi;

- altro aspetto importante del problema è la gestione del car-sharing (interventi molto interessanti sono stati pubblicati anche su questa rivista), meglio ancora se a noleggio con l'utilizzo di auto elettriche (diverse Società sono ormai operative, anche se principalmente solo nelle grandi città) Il costo del noleggio è abbastanza contenuto, ad esempio: cinque euro per ogni noleggio, più cinque euro per ogni ora di utilizzo;

- in definitiva, senza nulla volere togliere all'importanza della decongestione del traffico mediante l'attivazione di zone pedonali, resta il fatto che la gestione ottimale della rete viaria costituisce un problema assai complesso, che va analizzato nel suo insieme, e nel suo insieme correttamente gestito. Molte sono le iniziative in questo senso (sia a livello locale, sia a livello nazionale, sia a livello internazionale), molto è stato fatto e molto resta ancora da fare.

Riferimenti bibliografici

Carminucci C., Trepiedi L, Procopio M, Pieralice E., (2007) – *Gli strumenti dissuasivi della mobilità privata nelle città italiane: un approfondimento sulle limitazioni alla circolazione e alla sosta*, OPMUS Osservatorio sulle politiche per la mobilità urbana, ISFORT, Roma

Cascetta E. (2006) – *Modelli per i sistemi di trasporto,* UTET Università, Torino.

Di Gangi M., Postorino M. N. (2005) – *Modelli e procedure per l'analisi dei trasporti. Esercizi e applicazioni*, Franco Angeli, Milano.

Laurino, A., Grimaldi, R. (2012) "The Italian Way to Carsharing", *Tema. Journal of Land Use, Mobility and Environment*, Vol. 5, pp. 77 – 90.

Marcucci E. (2011) – *Scelte di trasporto e modelli a scelta discreta*, Collana Economia e Politica Industriale, Franco Angeli, Milano.

A.A.V:V. (2013) – "Mobilità Urbana – Anno 2011", *Statistiche Focus*, ISTAT

A.A.V:V. (2015) – "Mobilità Urbana – Anno 2013", *Statistiche Focus*, ISTAT

A.A.V:V. (2013) – "11° Rapporto sulla mobilità urbana", ISFORT, Roma

ISTAT - "15° Censimento della popolazione e delle abitazioni" - anno 2011

[18]) Il dati ISTAT relativi al 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni (relativi agli spostamenti pendolari per motivi di studio o di lavoro) evidenziano che i tempi destinati alla mobilità si sono allungati nel corso del decennio 2001/2011. Per recarsi al lavoro o nel luogo di studio più di otto persone su dieci (84,2%) utilizzano un mezzo di trasporto. L'automobile resta la scelta più diffusa, la usa il 44,9% dei residenti come conducente e il 15,9% come passeggero. Soltanto il 13,4% opta per i trasporti pubblici (o privati) collettivi come treno, tram, metropolitana, corriera, il 3,5% ricorre ai mezzi a motore a due ruote (motocicletta, ciclomotore e scooter) e un altro 3,3% va in bicicletta.