

LA CAPACITÀ AMBIENTALE COME INDICATORE DI QUALITÀ DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI

Natalia Distefano

Dottoranda di Ricerca in Ingegneria delle Infrastrutture Viarie
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Università degli Studi di Catania

Salvatore Leonardi

Ricercatore universitario e docente di “Infrastrutture viarie urbane e metropolitane”
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Università degli Studi di Catania

L'inquinamento atmosferico delle aree urbane è uno dei principali problemi ambientali. Sono note le situazioni di degrado della qualità dell'aria che caratterizzano molte delle città del mondo industrializzato. Si pensi, per esempio, ai frequenti superamenti dei limiti della qualità dell'aria che si riscontrano nelle grandi città in presenza di situazioni micrometeorologiche critiche. È importante sottolineare che il problema non si presenta sulla stessa scala spaziale per ogni inquinante. Se, infatti, gli inquinanti primari (cioè direttamente emessi dalle sorgenti) come il CO e l'NO₂ vanno cercati vicino alle fonti di emissione, gli inquinanti (come l'ozono) si possono trovare in concentrazioni importanti anche a qualche decina di chilometri dopo il punto di emissione, magari lontano dalle aree industrializzate o densamente popolate. Lo studio dell'inquinamento atmosferico va quindi affrontato su scale diverse secondo quale specie si voglia considerare.

Questa distinzione non è fine a se stessa, ma rispecchia poi diversi criteri sanitari su cui si basano differenti standard di qualità dell'aria o delle emissioni gassose.

Le principali fonti di inquinamento atmosferico nelle aree urbane sono riscontrabili nel traffico autoveicolare, negli impianti di riscaldamento e nei processi di lavorazione industriale. L'attuale tendenza a decentrare le aree industriali rende quest'ultima fonte la meno rilevante, anche se questo può essere non vero per tutte le città. Si cerca poi di minimizzare l'impatto del riscaldamento domestico sulla qualità dell'aria, introducendo sempre più intensamente l'uso del metano come combustibile negli impianti termici.

In definitiva, ai giorni nostri è proprio il traffico veicolare a costituire la sorgente inquinante maggiormente nociva soprattutto in termini di quegli inquinanti primari (NO₂ e CO) sopra menzionati. Le infrastrutture stradali, dunque, si configurano come le sorgenti di inquinamento che tendono a pregiudicare nella maniera più invasiva la qualità dell'ambiente; ciò avviene non soltanto per quel che concerne l'inquinamento atmosferico ma anche per quel che riguarda l'impatto su altre componenti ambientali (vegetazione, ambiente, rumore, ecc.).

Inoltre, se si considera il fatto che, anche le fasi di costruzione delle infrastrutture viarie possono comportare notevoli impatti ambientali, si capisce come sia necessario porre attenzione alle questioni direttamente connesse all'inquinamento prodotto dalle infrastrutture di trasporto sia nelle fasi di esercizio, sia in quelle di costruzione e/o di riqualificazione e potenziamento.

Con il presente contributo, s'intende propriamente fornire, tramite la definizione di un indicatore della qualità ambientale, uno strumento utile in almeno tre diverse fasi operative: la gestione della mobilità, la progettazione di nuove infrastrutture, l'adeguamento di opere esistenti.

Nella parte finale dello studio sarà trattato un caso reale (l'intera rete stradale di una cittadina del catanese), per il quale saranno valutati gli indicatori di qualità ambientale. In tale contesto, si giungerà ad interessanti conclusioni mirate ad evidenziare l'importanza d'interventi di riqualificazione della rete e di gestione del traffico, ai fini dell'ottimizzazione della qualità ambientale dell'intera rete stradale.

CAPACITÀ FISICA DELLE STRADE URBANE

Ogni tratto stradale di una rete di trasporto è caratterizzato da un valore massimo del flusso di veicoli che su di esso si ammette possa transitare. Tale valore ammissibile individua la capacità della strada e rappresenta un vincolo al suo funzionamento.

Questa soglia, determinata dalle caratteristiche intrinseche del tratto, è denominata *capacità fisica* o *capacità trasportistica* della strada, poiché essa dipende principalmente dalle caratteristiche geometriche della strada e corrisponde all'instaurarsi dei fenomeni fisici dell'instabilità o della congestione.

Nel caso delle strade urbane, la capacità fisica è definita in riferimento ai fenomeni di coda determinati dall'esistenza delle intersezioni: essa è quindi posta uguale a quel valore di flusso al di là del quale viene superato un certo livello di probabilità che la coda formatasi all'intersezione a valle invada anche l'intersezione a monte.

Per il calcolo della capacità fisica si è elaborata una procedura che trae origine dal metodo proposto nel manuale americano "Highway Capacity Manual (HCM)", relativo alle arterie urbane.

In particolare, la capacità fisica (C_T) di un tronco stradale si può ottenere tramite la seguente relazione:

$$C_T = n \cdot C_i \cdot f_c \quad [1]$$

Dove:

n = numero di corsie del tronco stradale considerato;

C_i = capacità ideale delle strade urbane (ragionevolmente compresa tra 1600 veic/h e 1800 veic/h in funzione della tipologia di strada);

f_c = fattore correttivo che tiene conto della velocità operativa delle strade urbane (si tratta di quel valore di velocità che tiene conto dei ritardi associati all'attraversamento degli incroci stradali da parte degli utenti dei veicoli a motore).

CAPACITÀ AMBIENTALE DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI

Si è già detto che il contributo originale offerto nel presente lavoro, consiste nella definizione di un opportuno indicatore adeguato alla caratterizzazione della qualità ambientale delle infrastrutture stradali. A tal fine, si è elaborato un criterio per quantificare un parametro fondamentale per la determinazione dell'indicatore di qualità ambientale: si tratta della *capacità ambientale* (C_a), cioè quel valore del flusso veicolare che, una volta raggiunto, causa il verificarsi di condizioni inaccettabili in una componente dell'ambiente esterno.

Una definizione generale della capacità ambientale (C_a) delle strade può essere data sulla base della valutazione di una funzione Q di *qualità ambientale* che esprime l'andamento del livello di inquinamento atmosferico.

È opportuno mettere in evidenza che nelle note che seguono si tiene conto soltanto degli aspetti ambientali relativi alle emissioni di sostanze inquinanti e alla loro diffusione nell'atmosfera. Tuttavia, il Gruppo di ricerca è impegnato nella individuazione di analoghi coefficienti relativi ad altri aspetti ambientali, come il rumore e il paesaggio (inquinamento estetico), condizionati dal livello del flusso veicolare.

Si consideri una rete stradale costituita da un numero n di tronchi. Una funzione di qualità ambientale dipende, nel caso più generale, dalle seguenti categorie di variabili:

- la distribuzione dei flussi di traffico sui tronchi della rete, rappresentati dal vettore f ;
- le proprietà geometriche e funzionali dei tronchi della rete (numero di corsie, numero di intersezioni, lunghezza dei tronchi stradali tra un nodo ed il successivo, parametri del ciclo semaforico, ecc.), rappresentate dalla matrice π ;
- le caratteristiche dell'ambiente esterno (condizioni meteorologiche e conformazione plano-altimetrica), rappresentate dalla matrice α ;

- i punti dello spazio in cui si vuole valutare la funzione Q di qualità ambientale, rappresentati dal vettore p .

Si può pertanto definire capacità ambientale C_a di una strada il minimo valore del flusso veicolare in corrispondenza del quale si ha il raggiungimento di un vincolo ambientale (ovvero il raggiungimento del limite di attenzione – definito dalle Norme ambientali – per una specificata sostanza inquinante). Si ricorda, in proposito, che il D.M.A. del 25 Novembre 2004 definisce i livelli di attenzione e di allarme, attualmente in vigore, per le principali sostanze inquinanti.

In simboli, si ha:

$$C_a = C_a(\pi, \alpha, p) \quad [2]$$

Per la deduzione pratica del valore di C_a si deve agire col supporto di modelli di simulazione delle emissioni (ad es., il modello Corinair o il modello di Tartaglia) e della concentrazione degli inquinanti (modelli euleriani, lagrangiani, gaussiani); tali modelli (analitici o sotto forma di software), in funzione delle variabili π , α e p consentono, variando iterativamente i flussi veicolari (definiti dal vettore f), di calcolare quel valore del flusso oltre il quale si manifesta il raggiungimento della soglia di attenzione per un dato tipo di inquinante.

L'INDICE DI QUALITÀ AMBIENTALE

Il concetto di capacità fisica, presente nella letteratura tecnica e quello di capacità ambientale analizzato e rielaborato nell'ambito dell'attività di questo gruppo di ricerca, costituiscono i parametri di base per la caratterizzazione dell'*indice di qualità ambientale* (ξ) di una strada. Tale indicatore è definito come il rapporto tra la capacità ambientale e la capacità di trasportistica di una strada, ovvero:

$$\xi = C_a/C_T \quad [3]$$

In funzione dei valori assunti dall'indice ξ , si possono presentare due differenti situazioni:

- 1) se la capacità ambientale è minore di quella trasportistica ($\xi < 1$), essa risulta più vincolante della capacità fisica al fine della formulazione del giudizio di qualità ambientale per il tratto stradale considerato; ciò vuol dire che le caratteristiche funzionali di una strada (conformazione plano-altimetrica, geometria, ecc.), pur compatibili con il funzionamento della stessa come via di trasporto, non sono invece conciliabili con le caratteristiche di qualità ambientale;
- 2) se la capacità ambientale è maggiore di quella fisica ($\xi > 1$), essa, pur rimanendo indicativa del livello di qualità ambientale offerto dal tronco stradale esaminato, non è più il parametro maggiormente vincolante. In questo caso, infatti, la funzionalità trasportistica della strada è perfettamente compatibile con il criterio della compatibilità ambientale dell'infrastruttura medesima.

In pratica, dunque, i rami di una rete caratterizzati da valori di ξ inferiori all'unità sono quelli che, per effetto dei flussi di traffico realmente gravanti sugli stessi possono essere più facilmente assoggettati a deterioramento della qualità ambientale.

In tale contesto l'iter operativo elaborato dagli scriventi prevede il calcolo del rapporto tra il flusso f_0 interessante, in un dato intervallo temporale, ciascun tronco stradale e la relativa capacità ambientale.

È evidente che i valori di f_0/C_a inferiori all'unità saranno indicativi di condizioni atmosferiche compatibili con i limiti di tollerabilità ammissibili; per contro, quando il rapporto f_0/C_a , supera il valore unitario, si è in presenza di evidenti squilibri ambientali.

Occorre a questo punto precisare che l'indice di qualità ambientale ξ è una quantità prefissata che può essere variata soltanto con interventi sostanziali, agendo, cioè, sui parametri – quali geometria, planimetria, orografia – che influenzano direttamente la capacità fisica e quella ambientale). Il flusso veicolare (f_0) è invece una variabile che può assumere valori anche notevolmente differenti

nell'arco di una giornata e che può essere controllata soltanto con interventi di gestione della mobilità; conseguentemente, anche il rapporto f_0/C_a non è una quantità "staticamente" associata a ciascun ramo della rete.

La metodologia d'indagine sopra illustrata prevede, infine, che il giudizio di compatibilità ambientale possa essere svolto nelle due seguenti condizioni operative:

- 1) *Fase di verifica* (per strade esistenti): nel caso di strade esistenti occorre procedere alla valutazione dell'entità del flusso veicolare che grava sui tronchi della rete stradale presa in esame; a tal fine occorre che, in alcune sezioni strategiche della rete stradale, siano posizionati dei dispositivi conta-traffico adeguati a fornire le informazioni sull'entità e sulle caratteristiche del flusso veicolare interessante i rami e i nodi della rete medesima. La presenza eventuale di stazioni per la misura delle sostanze inquinanti può fungere da supporto per quantificare le relazioni esistenti tra flussi veicolari e concentrazioni d'inquinanti; ciò al fine di validare sperimentalmente i modelli teorici di simulazione delle emissioni e delle dispersioni degli inquinanti medesimi.
- 2) *Fase di progetto* (per strade di nuova realizzazione): Nel caso d'infrastrutture stradali di nuova realizzazione, la capacità ambientale può essere calcolata alla stessa stregua del caso precedente, con la sostanziale differenza che i flussi di traffico devono essere "ragionevolmente" ipotizzati o "adeguatamente" valutati. In tale contesto, è possibile far riferimento ai modelli O/D (Origine/Destinazione) per determinare la distribuzione dei flussi veicolari sui tronchi e sui nodi di una rete stradale.

L'INDAGINE SPERIMENTALE

La fase applicativa del presente studio ha avuto come oggetto la situazione viaria e ambientale caratteristica di un Comune della provincia di Catania: Gravina di Catania. Tale comune dista 8 Km da Catania e sorge, sul versante sud dell'Etna, a circa 355 m d'altezza sul livello del mare. Il suo territorio, di circa 5 Km², ospita quasi 30 mila abitanti.

È importante rilevare che la scelta di un comune di ridotte dimensioni è stata fatta solo al fine di semplificare la mole di lavoro (rilievi in sito, restituzione grafica del tracciato, reperimento ed acquisizione delle informazioni) necessaria alla caratterizzazione globale del territorio.

Si ritiene tuttavia che la metodologia proposta possa adattarsi anche a comuni di maggiore importanza (sia come estensione, sia come flussi veicolari).

Per la determinazione della capacità trasportistica dei tronchi componenti la rete viaria presa in esame, si è fatto riferimento alla procedura riportata precedentemente per il calcolo di C_T relativamente alle strade urbane. In effetti, la rete stradale principale del Comune di Gravina presenta peculiarità tipiche dei contesti urbani.

La valutazione della capacità ambientale è stata eseguita facendo ricorso all'equazione [2], con riferimento al modello analitico CORINAIR per la valutazione delle emissioni inquinanti ed al modello Gaussiano per una stima attendibile delle concentrazioni nell'atmosfera. In particolare, sono state considerate le funzioni Q di *qualità ambientale* relative al livello di inquinamento di 6 tipologie di sostanze: CO, CO₂, NO₂, NO_x, HC, PTS. Il "vincolo ambientale", in definitiva, è costituito dal superamento dei limiti di attenzione che le normative impongono per gli inquinanti suddetti.

Si è conseguentemente dedotto l'indice di qualità ambientale ξ tramite l'equazione [3].

A titolo d'esempio, si riporta nella figura 1 la mappa di qualità ambientale relativa al monossido di carbonio (CO) che è risultato essere l'inquinante maggiormente condizionante la capacità ambientale dei tronchi stradali urbani. Si può notare che i tronchi stradali in cui si verifica la condizione $\xi < 1$ sono circa il doppio di quelli in cui si manifesta la condizione opposta.

Un altro punto della verifica sperimentale è consistito nella caratterizzazione delle condizioni di deflusso sui tronchi stradali che definiscono complessivamente la rete viaria di Gravina. Si è così

organizzato un rilievo di traffico su tutti i tronchi della rete urbana principale in diverse fasce orarie (7.00-8.00, 12.00-13.00, 18.00-19.00).

L'ora di punta, in altre parole l'intervallo orario in cui la rete stradale risulta massimamente caricata, è quella compresa tra le 12.00 e le 13.00.

Nella mappa riportata nella figura 2 sono stati rappresentati, per tutti i tronchi della rete stradale del Comune di Gravina di Catania, i rapporti tra i flussi reali (f_0), relativi all'ora di punta, e i valori di capacità ambientale (C_a) relativi al Monossido di Carbonio. Dall'analisi di tale mappa si evince come numerosi tronchi presentino diversi livelli di criticità ambientale: in molti rami della rete il flusso veicolare eccede di una quantità doppia la capacità ambientale (in alcuni tratti il flusso è da 4 a 8 volte maggiore del valore di C_a).



Figura 1: Mappa di qualità ambientale (Comune di Gravina di Catania).

Si ritiene che le informazioni deducibili dalla mappa di figura 2 siano estremamente utili ai fini di poter predisporre gli interventi di gestione del traffico necessari a ripristinare adeguate condizioni di qualità dell'aria.

A tal proposito osserviamo che la gestione della mobilità urbana è sicuramente un aspetto rilevante per realizzare l'efficienza del sistema di trasporto. L'informazione agli utenti può giocare un ruolo rilevante nel ridurre la congestione sia fisica sia ambientale, e può ottimizzare i tempi di spostamento. A tal proposito si può prospettare la realizzazione di un sistema multimediale d'informazione dinamica all'utenza del trasporto pubblico e privato, offrendo suggerimenti individuali e collettivi per l'esecuzione degli spostamenti tenendo conto delle condizioni del traffico e dei problemi ambientali. In particolare, si può pensare ad un Sistema Informativo Territoriale, interfacciato con periferiche di misura disposte in loco (stazioni meteorologiche, stazioni di misura del livello di inquinamento, centraline conta-traffico) e con un sistema di cartelli a messaggio variabile dislocati lungo il tracciato viario aventi il compito di fornire informazioni e raccomandazioni agli utenti attraverso testi e pittogrammi.

In alternativa agli interventi di gestione della viabilità urbana, è possibile pensare alla riqualificazione delle infrastrutture stradali che, dal punto di vista della capacità ambientale, può essere realizzata con diverse modalità, tra le quali:

- riduzione della capacità fisica (eliminando, ad esempio, un senso di marcia);
- ampliamento della carreggiata (al fine di ridurre l'influenza degli inquinanti sulle tipologie di ricettori prese in esame).

Si tratta, in entrambi i casi, di interventi onerosi e non sempre possibili e, in ogni caso, da prendere in considerazione nelle situazioni in cui gli interventi di regolamentazione del traffico non siano efficaci per periodi temporali elevati, oppure quando si intende variare drasticamente l'indice di qualità ambientale di un dato ramo (facendo, cioè, passare ξ , da un valore inferiore ad 1, ad un valore superiore all'unità).

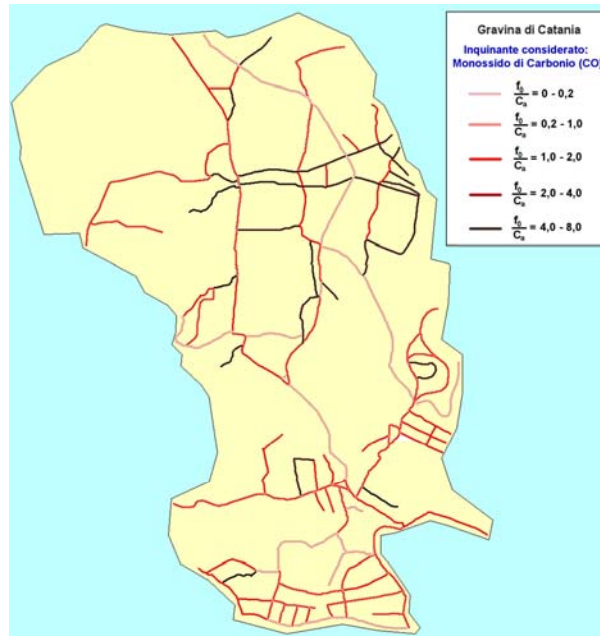


Figura 2: Visualizzazione dei rapporti f_0/C_a (Comune di Gravina di Catania).

CONCLUSIONI

Il concetto di “qualità” delle infrastrutture stradali non può prescindere dalla presa in considerazione, oltre che della fase di progetto, anche di quella di esercizio. Gli indicatori maggiormente adeguati a fornire un giudizio di qualità delle strade sono indubbiamente quelli connessi all'inquinamento ambientale (atmosfera, rumore e vibrazioni, paesaggio, ecc.).

In tale contesto, l'aspetto originale ed innovativo del presente contributo è da ricercarsi principalmente nel confronto tra due concetti sostanzialmente differenti di capacità:

- la capacità fisica che mette in conto le restrizioni al deflusso veicolare dovute alla geometria del tracciato ed ai condizionamenti dovuti, in ambito urbano, alla continua presenza di intersezioni a raso;
- la capacità ambientale definita come quel limite, in termini di veicoli transitanti in un periodo di riferimento, oltre il quale i valori di concentrazione degli inquinanti superano la soglia ammissibile (in base alla normativa o in base a raccomandazioni sanitarie).

Lo studio di un caso reale ha ulteriormente confermato che si sta lentamente acquisendo una consapevolezza anche fra le amministrazioni locali: la gestione della mobilità è un aspetto rilevante per ottimizzare il livello di qualità offerto dalle infrastrutture di trasporto. Anche gli interventi di potenziamento e di riqualificazione della rete possono essere determinanti, inoltre, per l'ottimizzazione delle “prestazioni ambientali” delle infrastrutture.

Si sottolinea, altresì, che, pur avendo presentato i risultati di una ricerca condotta in ambito urbano, le considerazioni che stanno alla base dello studio possono essere estese anche al territorio extraurbano.