

LA QUALITÀ DELL'ARIA COME PARAMETRO ADDIZIONALE NELLA SCELTA DEI PIANI SEMAFORICI

Sascia Canale ⁽¹⁾

Salvatore Leonardi ⁽²⁾

Maurizia Barone ⁽³⁾

1. Premesse.

La stretta relazione che esiste tra le caratteristiche quali-quantitative del traffico veicolare e la qualità dell'aria delle aree metropolitane è da tempo nota agli studiosi del settore. E' infatti risaputo che una delle principali cause di degrado della salubrità dell'aria, nelle aree urbane, è costituita proprio dalle concentrazioni di inquinanti derivanti dalle modalità di circolazione dei flussi veicolari.

Sia a livello nazionale che in ambito CEE è stata compresa la necessità di dotare le grandi città di adeguati piani urbani di traffico che, oltre a contribuire ad un aumento della qualità della vita, sono anche utili ai fini di un abbattimento dei livelli di inquinamento da traffico autoveicolare urbano.

Prendendo spunto da queste problematiche, il presente studio si pone come obiettivi:

- *la deduzione di una correlazione diretta tra la qualità della circolazione in corrispondenza delle intersezioni semaforizzate e le concentrazioni di inquinanti nell'atmosfera;*
- *la proposta di interventi mirati, contemporaneamente, al miglioramento delle condizioni di viabilità riscontrabili negli incroci regolati semaforicamente ed alla riduzione delle emissioni di sostanze inquinanti.*

Al fine di perseguire gli obiettivi enunciati, si applicherà un procedimento metodologico, fondato sull'utilizzo di modelli analitici e procedure informatizzate, già proposto da questo stesso gruppo di ricerca e pubblicata su questo stesso numero della rivista.

⁽¹⁾ Professore associato di "Costruzioni di Strade Ferrovie ed Aeroporti" presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Catania.

⁽²⁾ Dottorando di ricerca in "Riqualificazione e potenziamento della rete stradale" presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Catania.

⁽³⁾ Ingegnere, collaboratrice volontaria all'attività di ricerca presso l'Istituto di Strade Ferrovie ed Aeroporti dell'Università degli Studi di Catania.

In particolare, la taratura del modello proposto avverrà attraverso la presa in esame delle caratteristiche (di viabilità, geometriche, ambientali) delle intersezioni semaforizzate relative ad una infrastruttura, la Circonvallazione Nord, appartenente al tessuto viario urbano della provincia di Catania.

2. Condizioni di viabilità relative alla circonvallazione nord della città di Catania.

Uno studio finalizzato all'analisi della qualità della circolazione in corrispondenza delle intersezioni semaforizzate appartenenti alla realtà italiana (cfr. S. Canale, S. Leonardi, M. Barone. "Regolazioni semaforiche: metodologie CNR ('92) ed HCM ('94) a confronto" – memoria in corso di pubblicazione), ha dimostrato che la metodologia d'indagine maggiormente confacente allo studio di tali intersezioni, è quella proposta dal "Manuale della capacità" americano. La tecnica dell'Highway Capacity Manual per la definizione delle situazioni di traffico significative alle intersezioni, passa attraverso due fasi fondamentali:

1. l'acquisizione sistematica dei dati;
2. l'elaborazione dei dati mediante i criteri d'analisi suggeriti dall'HCM.

Nell'ambito del presente studio, si è scelto di far riferimento ad una serie di sei intersezioni semaforizzate appartenenti alla circonvallazione nord della città di Catania (fig. 1).

Al fine di ottenere risultati attendibili, l'acquisizione dei dati è stata articolata in quattro settimane significative (periodo dal 2/02/'98 al 28/02/'98).

La prima settimana è stata dedicata ai rilievi geometrici e di semaforizzazione per ognuna delle intersezioni in esame. Tali rilievi comprendono:

- ↻ la geometria dell'intersezione e quindi: la pendenza dei rami, il numero e la larghezza delle corsie, le condizioni di parcheggio, le condizioni di fermata degli autobus urbani, l'esistenza di corsie dedicate alla svolta a destra o a sinistra e la lunghezza di tali corsie;
- ↻ la completa caratterizzazione della semaforizzazione, cioè: la definizione e la lunghezza delle fasi alle varie intersezioni e la lunghezza dei cicli (in realtà, nelle condizioni attuali i cicli semaforici sono variabili, in quanto attuati dal personale addetto della Polizia municipale).

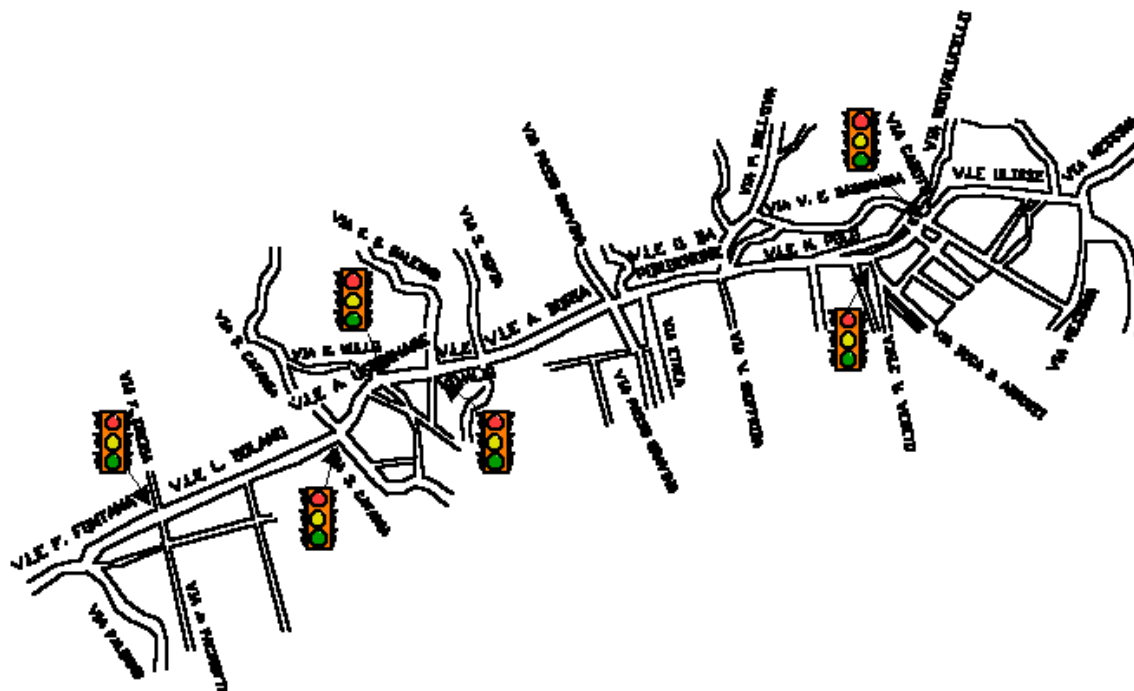


Figura 1: Schema della circonvallazione nord di Catania.

Le altre settimane sono state impiegate per rilevare quali-quantitativamente le caratteristiche di viabilità delle intersezioni analizzate. In particolare, sono stati acquisiti i seguenti dati:

- ⇒ i volumi di traffico per ogni manovra in ogni ramo;
- ⇒ la percentuale di veicoli pesanti in ogni ramo;
- ⇒ il numero di autobus locali in ogni accesso che effettuano la fermata per prelevare o scaricare passeggeri nell'intersezione.

I giorni scelti per questi tipi di indagine sono stati quelli feriali, "tradizionalmente" significativi per i rilievi di traffico, cioè: martedì, mercoledì e giovedì (scartando ovviamente i giorni in cui particolari condizioni atmosferiche o locali avrebbero falsato i risultati). Riguardo le ore di indagine, la scelta è ricaduta su quelle caratterizzate dai flussi veicolari più consistenti, al fine di identificare, in maniera univoca, le ore di punta alle quali, poi, riferire l'"analisi" HCM.

I dati così acquisiti sono stati successivamente organizzati in grafici, allo scopo di fornire una descrizione minuziosa dell'andamento del traffico agli incroci della circonvallazione nord di Catania. I grafici nelle figure 2 e 3 sono rappresentativi dell'evoluzione del traffico (veicoli leggeri) sulla circonvallazione, rispettivamente nelle direzioni est-ovest ed ovest-est.

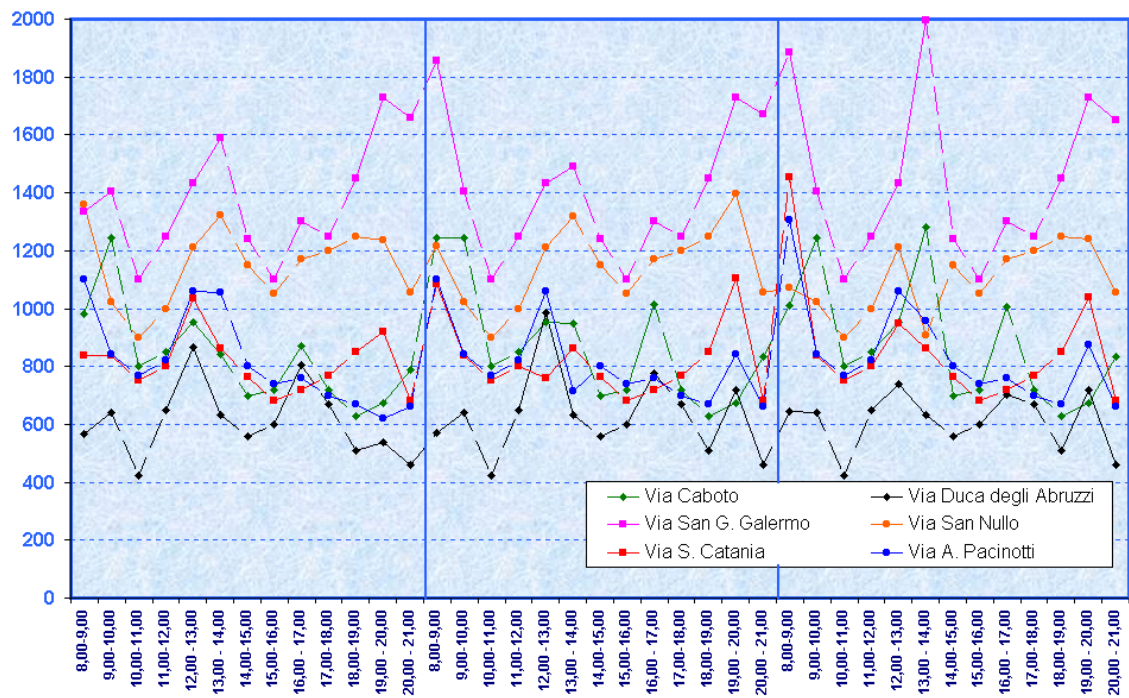


Figura 2: Grafico cumulativo per la direzione est-ovest della circonvallazione nord di Catania (veicoli leggeri).

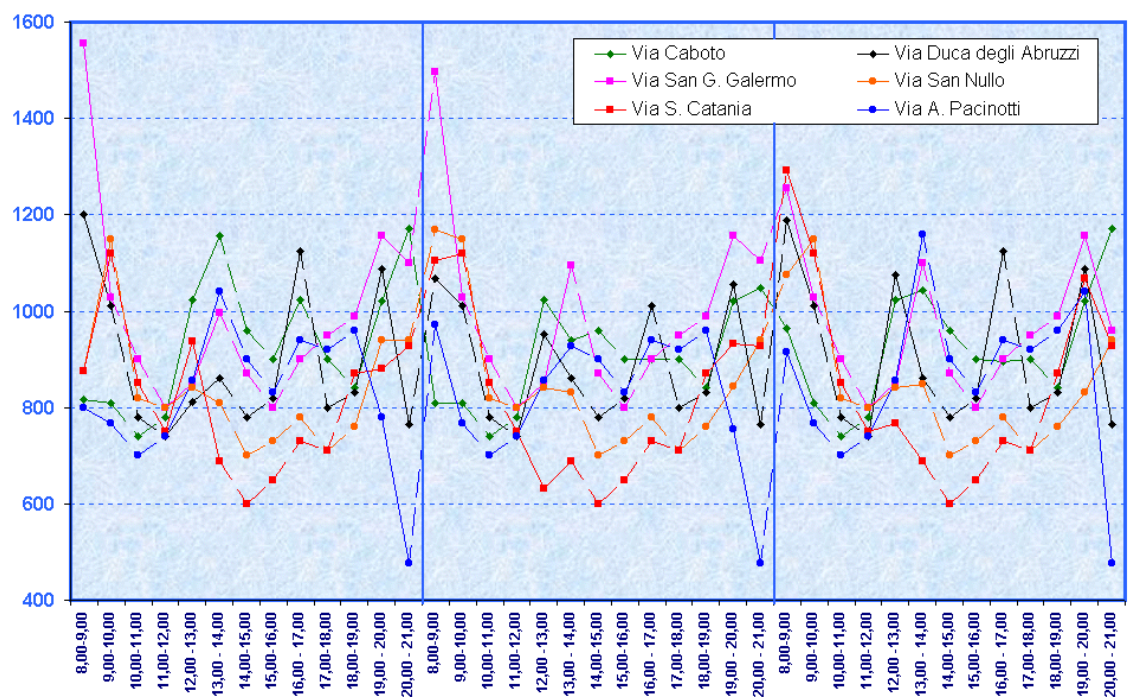


Figura 3: Grafico cumulativo per la direzione ovest-est della circonvallazione nord di Catania (veicoli leggeri).

I diagrammi rappresentati nelle figure che vanno dalla 4 alla 6 descrivono l'andamento del traffico in una intersezione di riferimento scelta a titolo esemplificativo (si tratta

dell'intersezione costituita dalla circonvallazione nord di Catania con la via San Giovanni Galermo), in ciascun giorno in cui sono stati realizzati i rilievi. I dati riguardanti i veicoli pesanti e le fermate degli autobus sono stati riportati nella tabella 1.

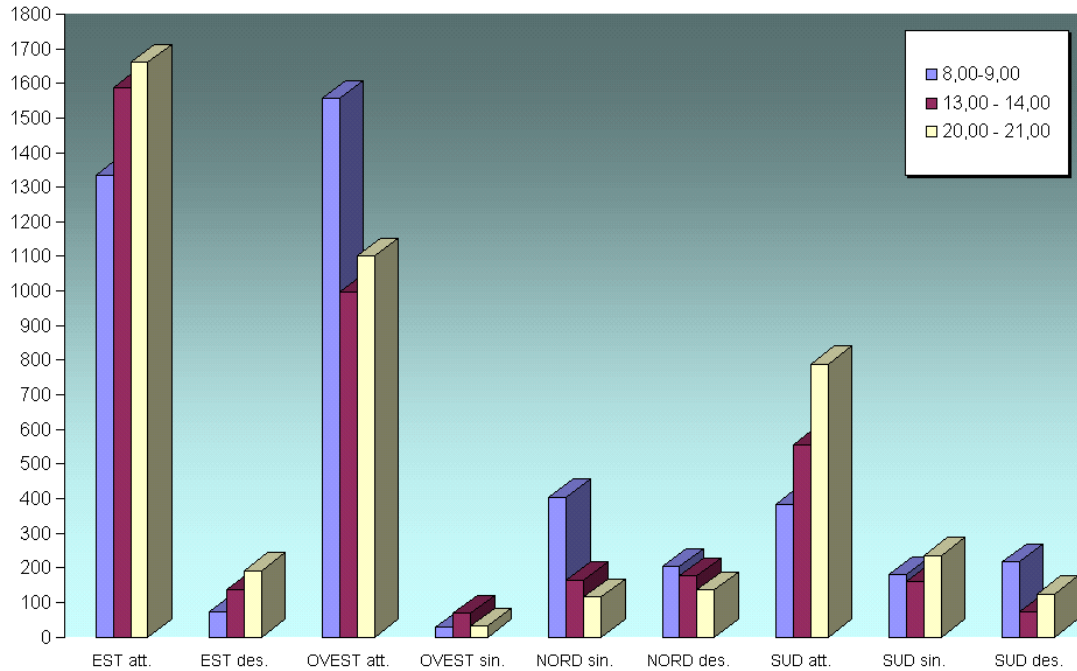


Figura 4: Istogramma dei rilievi di martedì 17/02/98 in corrispondenza dell'intersezione Viale A. Usodimare - Via San G. Galermo.

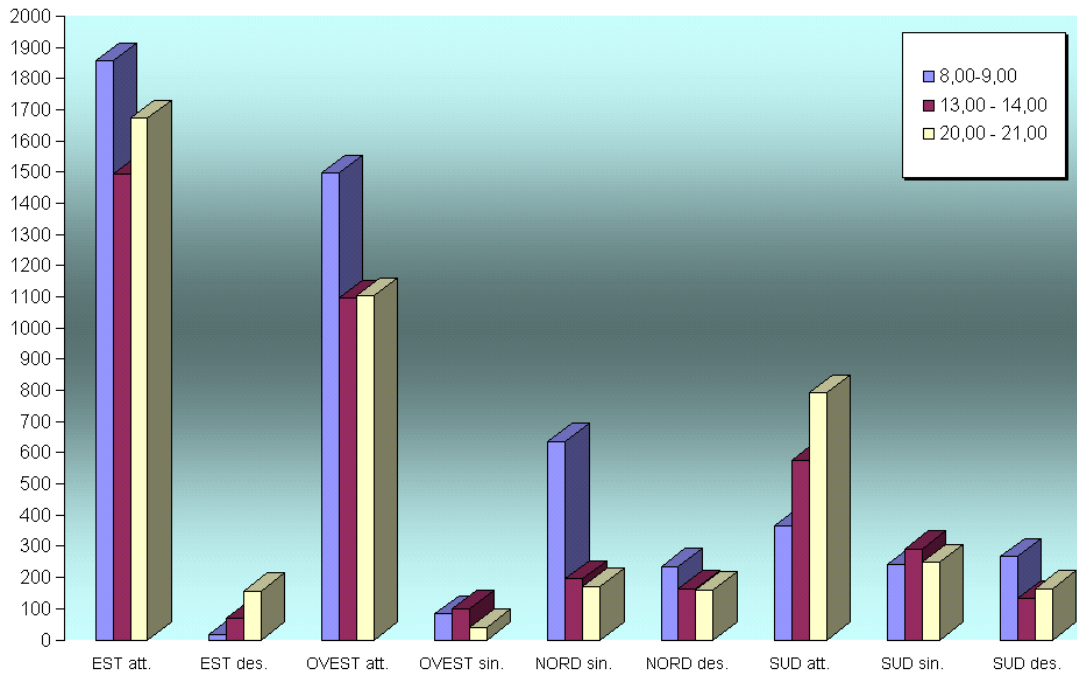


Figura 5: Istogramma dei rilievi di mercoledì 11/02/98 in corrispondenza dell'intersezione Viale A. Usodimare - Via San G. Galermo.

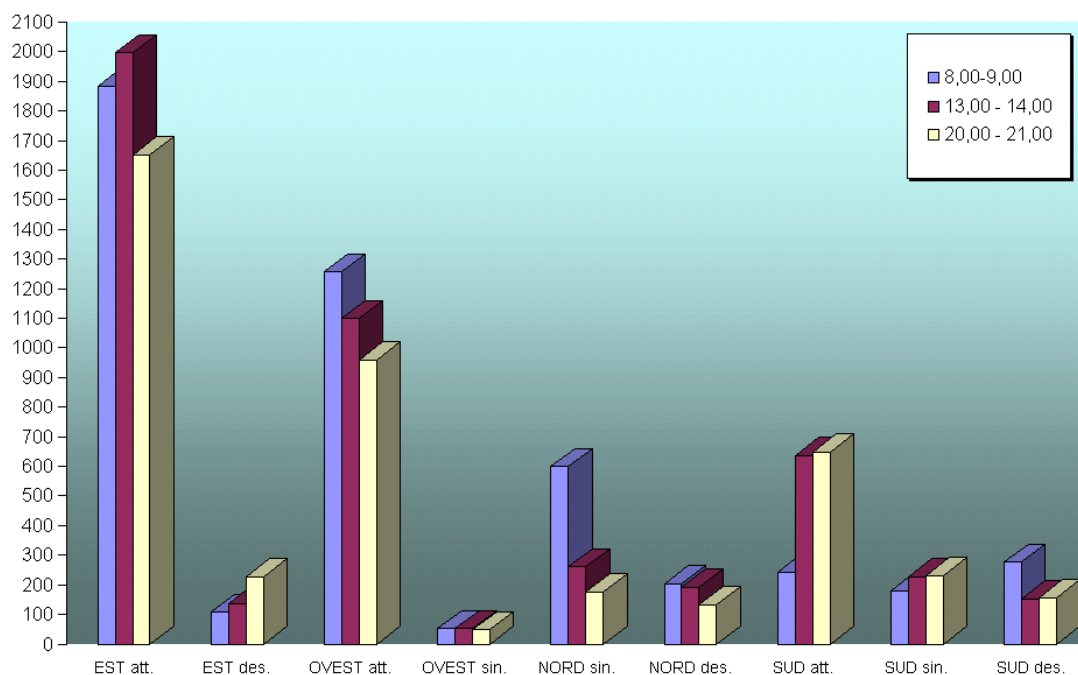


Figura 6: Istogramma dei rilievi di giovedì 26/02/'98 in corrispondenza dell'intersezione Viale A. Usodimare - Via San G. Galermo.

	E(at)		E(sx)		E(dx)		O(at)		O(sx)		O(dx)		N(at)		N(sx)		N(dx)		S(at)		S(sx)		S(dx)	
	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A
8.00-9.00	8	0			4	4	40	8	4	0					4	0	4	8	0	4	4	4	0	0
13.00-14.00	44	4			4	0	24	4	0	0					4	0	0	12	0	8	8	12	4	0
16.00-17.00																								
20.00-21.00	8	4			4	0	12	0	0	0					4	0	0	0	4	4	0	0	0	0
8.00-9.00	8	0			0	0	20	0	0	0					0	0	0	0	12	0	8	0	4	4
13.00-14.00	16	8			4	0	32	4	0	0					0	0	0	0	4	0	4	8	0	0
16.00-17.00																								
20.00-21.00	0	4			0	4	4	0	4	0					0	0	8	0	0	4	0	0	0	0
8.00-9.00	8	4			0	4	56	4	4	0					4	0	8	8	4	0	4	4	0	0
13.00-14.00	20	0			0	4	32	4	4	0					0	0	4	4	0	0	8	0	0	0
16.00-17.00																								
20.00-21.00	16	0			4	0	0	0	0	0					0	0	0	0	0	4	0	0	0	0

Tabella 1: Veicoli pesanti (P) e fermate autobus (A) rilevati martedì 17/02/'98, mercoledì 11/02/'98 e giovedì 26/02/'98 in corrispondenza dell'intersezione Viale A. Usodimare - Via San G. Galermo.

3. Elaborazioni HCM/Cinema dei dati relativi alle intersezioni in esame.

I dati di traffico acquisiti durante il periodo di indagine, unitamente ai relativi dati geometrici e di semaforizzazione sono stati utilizzati per l'analisi delle intersezioni

secondo i criteri proposti dall'Highway Capacity Manual. A supporto di queste elaborazioni si è impiegato il software HCM/Cinema 3.11, sviluppato dalla KLD Associates Inc. e dal Polytechnic University Brooklyn (NY).

HCM/Cinema riproduce fedelmente le procedure di analisi della capacità del capitolo 9 dell'edizione dell'ottobre del '94 dell'HCM.

Il suddetto software partendo dai dati di input realizza una rappresentazione schematica dell'intersezione e delle fasi semaforiche, rielaborando poi i dati di output in fogli di lavoro che descrivono in maniera esaustiva le condizioni di capacità e il livello di servizio della intersezione studiata. HCM/Cinema incorpora, inoltre, il modello TRAF-NETSIM di simulazione del traffico, che realizza le *performance MoE (Measures of Effectiveness, misure di efficacia)*, sfruttando gli stessi input necessari per l'analisi HCM.

L'analisi HCM degli incroci semaforizzati della circonvallazione, ha rivelato un livello di servizio per le sei intersezioni di tipo F, cui corrisponde una qualità della circolazione scadente. In figura 7 è riportato l'istogramma riassuntivo dei livelli di servizio relativo ai quattro rami dell'intersezione scelta come riferimento.

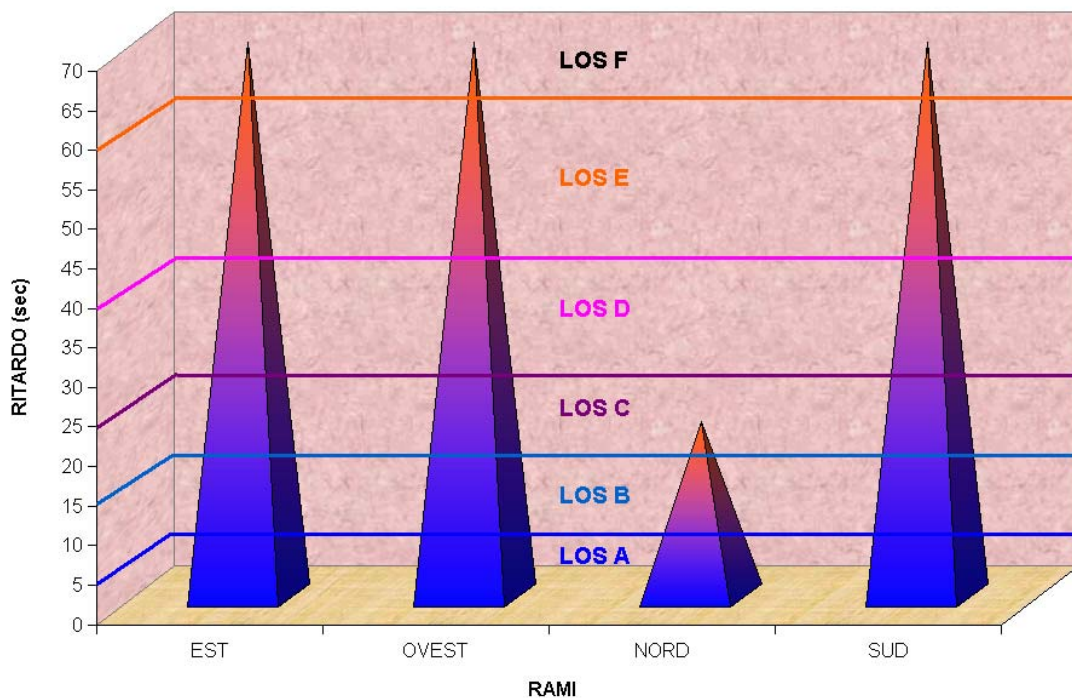


Figura 7: Istogramma dei livelli di servizio dei rami dell'intersezione Viale A. Usodimare / Via San Giovanni Galermo.

4. Determinazione della correlazione tra qualità dell'aria e qualità della circolazione.

Uno degli obiettivi dichiarati di questa ricerca è quello di riuscire ad instaurare una correlazione diretta tra la qualità della circolazione nelle intersezioni semaforizzate e le concentrazioni di inquinanti nell'aria, causate propriamente sia dalle modalità di guida in corrispondenza delle intersezioni medesime, sia, ovviamente, dall'entità dei flussi veicolari. In questa sezione della presente ricerca, dunque, si punterà l'attenzione sulla problematica del calcolo delle concentrazioni degli inquinanti nell'aria, in funzione delle caratteristiche di controllo della viabilità sulle intersezioni semaforizzate.

Si sottolinea preliminarmente il fatto che la deduzione dei risultati che verranno esposti, trae origine dai dati di traffico rilevati “sul campo” in corrispondenza delle intersezioni semaforizzate appartenenti alla circonvallazione nord di Catania. Preme, tuttavia, mettere in evidenza come la procedura seguita sia egualmente valida per indagare sulle “caratteristiche ambientali” di qualsiasi intersezione regolata a mezzo di lanterne semaforiche.

L'iter procedurale seguito al fine di ricavare la prospettata correlazione, ricalca la direttive proposte da questo stesso gruppo di ricerca nell'ambito di uno studio precedente.

In sintesi:

1. l'utilizzo dei dati di traffico e dei parametri descrittivi delle caratteristiche geometriche e di semaforizzazione delle intersezioni, come input per una procedura informatizzata atta a fornire le emissioni di inquinanti in grammi/chilometro (nel nostro studio si è impiegato il modulo TRAF-NETSIM del software HCM/Cinema);
2. la correzione degli output di TRAF-NETSIM tramite l'applicazione di fattori moltiplicativi adeguati a “convertire” gli output medesimi in valori significativi per le condizioni tipiche della viabilità italiana;
3. la valutazione delle concentrazioni di inquinanti (CO, NO_x e HC) tramite l'utilizzo del modello gaussiano.

Riguardo l'ultimo punto della procedura proposta, rileviamo che le concentrazioni di inquinanti sono state valutate parcellizzando ognuna delle sei intersezioni in due assi, uno costituito dai rami est-ovest e l'altro dagli accessi nord-sud. Le concentrazioni, in queste direttrici, sono state calcolate facendo riferimento ad una lunghezza, a cavallo dell'intersezione, pari a 200 m, e sommando le emissioni presenti sui due rami che costituiscono la direttrice.

Si riassume, di seguito, il modello gaussiano per il calcolo delle concentrazioni di inquinanti:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right]} \cdot e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z}{\sigma_z} \right)^2 \right]} \quad (1)$$

in cui si è indicato con:

C(x,y,z): la concentrazione di inquinante nel punto di coordinate (x,y,z) (g/mc);

Q: la quantità di inquinante emessa dalla sorgente nell'unità di tempo (g/sec);

u: la velocità media del vento (m/sec);

σ_y , σ_z : i parametri della dispersione (scarti quadratici medi della distribuzione della concentrazione) nelle direzioni y e z in funzione della distanza x e delle condizioni atmosferiche (m).

Nel caso specifico dell'inquinamento da traffico veicolare, si è adottato il modello gaussiano standard, assumendo che le singole sorgenti puntiformi ed i ricettori si trovino tutti all'altezza del suolo; si utilizza pertanto l'espressione:

$$C = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right]} \quad (2)$$

I valori di Q vengono ricavati moltiplicando le emissioni fornite da TRAF-NETSIM, corrette mediante gli opportuni coefficienti correttivi, per il fattore di conversione per ottenere le emissioni in grammi/secondo.

L'applicazione delle tre fasi della metodologia elaborata ha permesso di evincere i seguenti risultati:

- ✓ le concentrazioni degli idrocarburi incombusti sono sempre inferiori al limite massimo indicato dal DPCM del 28/3/'83, cioè 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Si tratta, comunque, di risultati previsti, in quanto, usualmente, le concentrazioni degli HC nell'ambiente sono molto basse;
- ✓ anche per gli ossidi di azoto si sono riscontrate concentrazioni inferiori al limite indicato da normativa, che per il biossido di azoto è di 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Anche in questo caso si può parlare di un risultato atteso, in quanto è noto che le emissioni di azoto presentano un minimo in corrispondenza dell'intervallo di velocità comprese tra 25 e 50 km/h (si tratta proprio dei valori di velocità tipici del ciclo di guida urbano);

- ✓ per il monossido di carbonio, invece, si manifestano, in molteplici casi, concentrazioni eccedenti i limiti massimi indicati dal DPCM del 28/3/'83 (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per una concentrazione media di 8 ore d'esposizione e di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per una concentrazione media di 1 ora d'esposizione).

Da quanto appena illustrato si deduce che le problematiche inerenti all'inquinamento atmosferico delle aree poste in prossimità di incroci regolati semaforicamente, si traducono esclusivamente nella "necessità" di controllare il livello di monossido di carbonio presente nell'aria. Partendo da questa consapevolezza, si è voluto rappresentare (fig. 8, fig. 9) la variazione della concentrazione di CO in funzione di due parametri condizionanti:

- ✗ la distanza (m) del possibile ricettore dall'asse della direttrice considerata (il ricettore viene supposto sul marciapiede);
- ✗ la velocità del vento (m/s), che viene fatta variare da un minimo di 1 m/s ad un massimo di 15 m/s.

In questi stessi grafici, si può leggere anche il valore del PSI (Pollutant Standard Index), che è un indice della qualità giornaliera dell'aria, in grado di raggruppare in un'unica scala da 0 a 500 i dati sulle concentrazioni di 5 standard specifici, tra cui il monossido di carbonio (tabella 2).

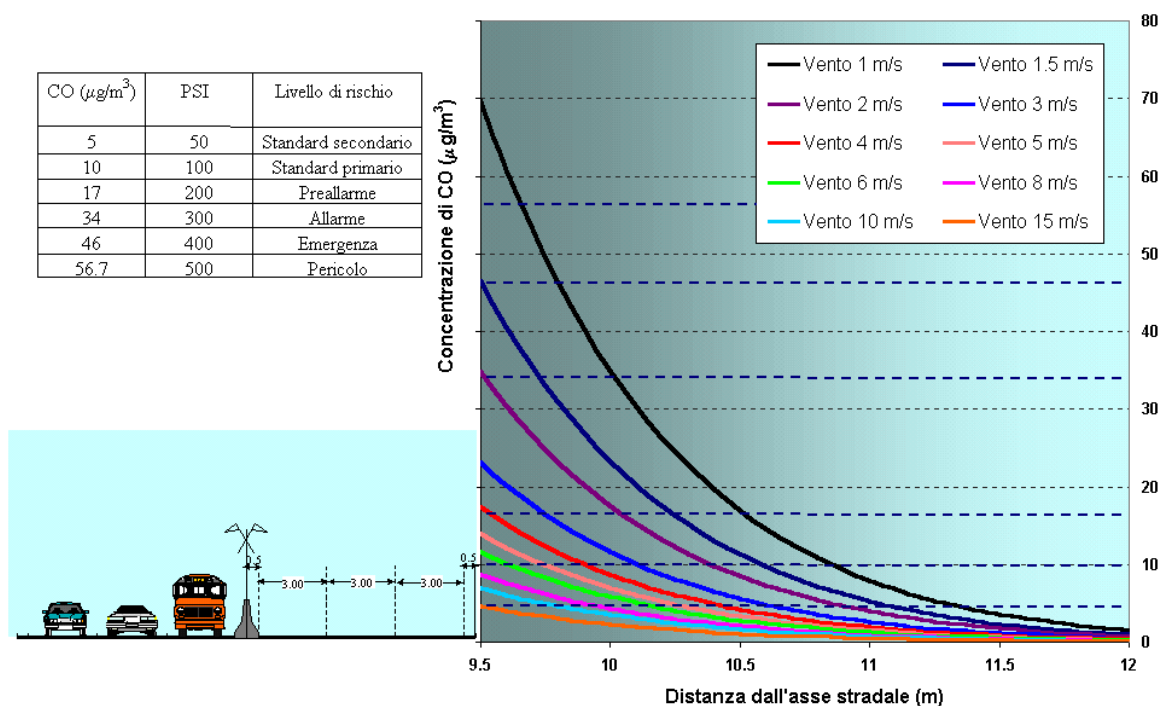


Figura 8: Grafico della variazione della concentrazione di CO nella direttrice Est/Ovest dell'incrocio Viale A. Usodimare – Via S. G. Galermo.

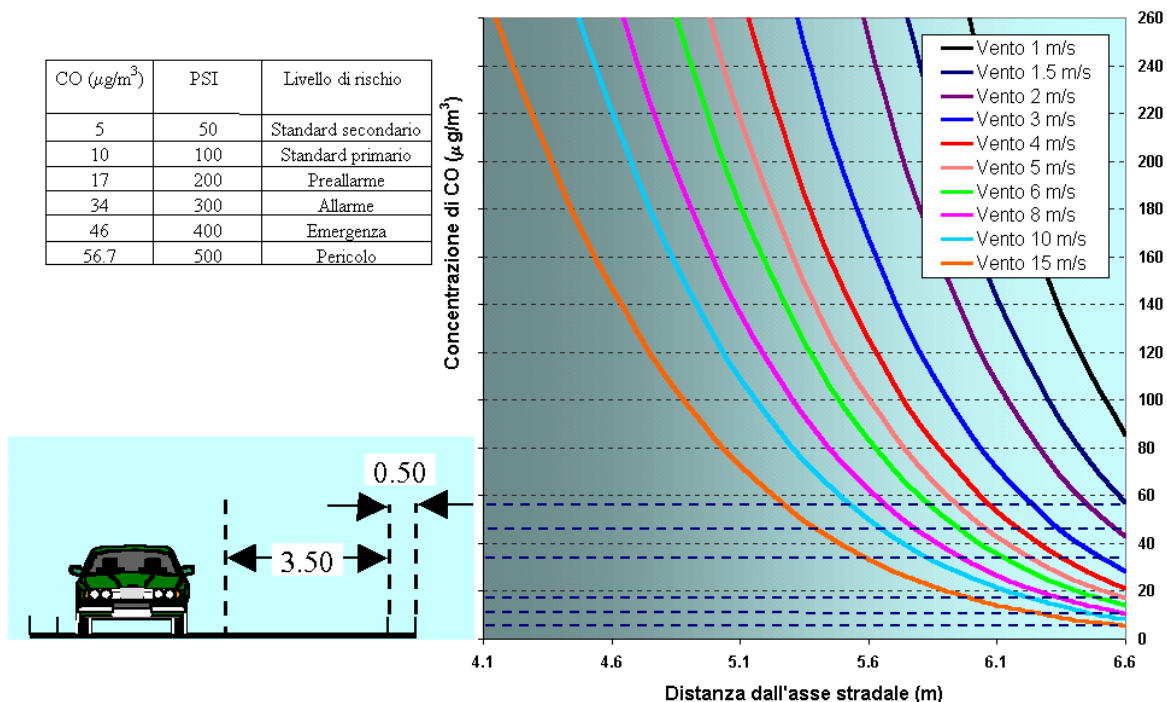


Figura 9: Grafico della variazione della concentrazione di CO nella direttrice Nord/Sud dell'incrocio Viale A. Usodimare – Via S. G. Galermo.

Livello di rischio	CO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PS $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO ₂ x PS $\mu\text{g}^2/\text{m}^6$	NO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	O ₃ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PSI	Rischio sanitario	Effetti sanitari generali	Precauzione
Tempo di campionamento (ore)	8	24	24	-	1	1	1			
Standard secondario	5	80	75	-	-	80	50	buona		
Standard primario	10	365	260	-	100	160	100	moderata		
Preallarme	17	800	375	65000	1130	200	200	insalubre	Lieve aggravamento dei sintomi nei soggetti sensibili, e manifestazione di irritazioni nei soggetti sani.	Le persone con disfunzioni cardiache o respiratorie devono ridurre l'attività fisica, e le attività che implicino esposizione all'atmosfera esterna.
Allarme	34	1600	625	261000	2260	800	300	molto insalubre	Aggravamento significativo dei sintomi esistenti, riduzione della resistenza fisica nei portatori di disfunzioni cardiache o polmonari, larga diffusione di sintomi vari nei soggetti sani.	Le persone anziane o portatrici di insufficienze cardiache o polmonari devono restare nelle loro abitazioni e ridurre l'attività fisica.
Emergenza	46	2100	875	393000	3000	1000	400	pericolosa	Manifestazione prematura di alcune malattie, aggravamento dei sintomi e calo di resistenza fisica nei soggetti sani.	Le persone anziane e malate devono restare nelle loro abitazioni ed evitare attività fisica. La popolazione in genere deve evitare attività da svolgersi all'esterno.
Pericolo	56.7	2620	1000	49000	3750	1200	500	pericolosa	Decessi accelerati di malati ed anziani. Sintomi tangibili anche sulla popolazione sana.	La popolazione deve restare nelle abitazioni, con porte e finestre chiuse. E' necessario ridurre al minimo l'attività fisica ed evitare il movimento.

Tabella 2: Episodi pericolosi di inquinamento parametrati in funzione dell'indice PSI. Definizione degli stati di preallarme, allarme, emergenza e pericolo.

Alla fine di questa sezione della ricerca, appare opportuno mettere in risalto il raggiungimento di un primo interessante obiettivo: aver dimostrato come, ad una situazione di traffico congestionato, corrisponda una condizione di qualità degradata dell'aria, almeno per quanto riguarda il monossido di carbonio, che costituisce la più importante e significativa emissione inquinante dovuta al traffico veicolare "condizionato" dalle regolazioni semaforiche. Si ribadisce, inoltre, l'importanza di aver opportunamente quantificato la correlazione tra traffico ed inquinamento atmosferico, anche al fine di incentivare interventi sulla gestione della viabilità delle infrastrutture urbane, del tipo di quelli prospettati nell'ultima parte di questo studio, adeguati a garantire miglie in qualità della circolazione veicolare e, di conseguenza, nella qualità dell'aria.

5. Proposta di semaforizzazione attuata eco-compatibile.

Con riferimento alle problematiche esposte fino a questo punto della presente trattazione, al fine di predisporre miglioramenti significativi per le condizioni di viabilità della circonvallazione nord di Catania, si è ipotizzato un sistema di attuazione della semaforizzazione, in grado di controllare le sei intersezioni mediante delle unità locali, ciascuna delle quali composta da un regolatore collegato con una unità di controllo.

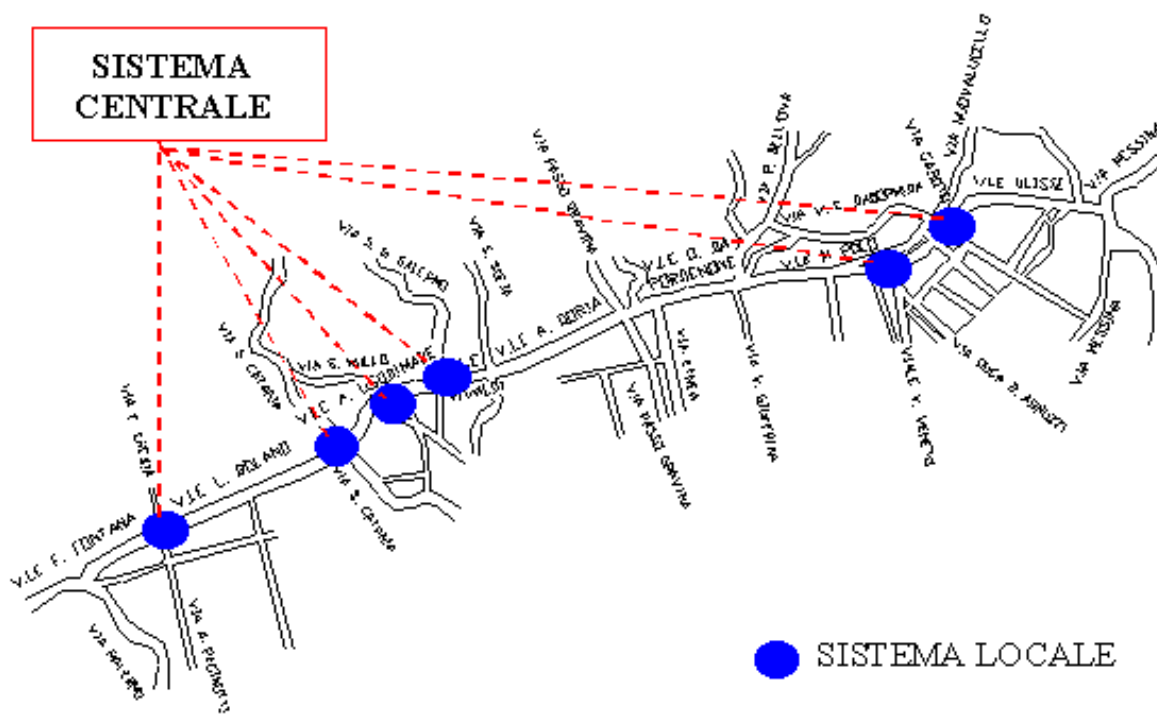


Figura 10: Struttura del sistema di attuazione ipotizzato per la Circonvallazione.

Le intersezioni devono essere, quindi, attrezzate con dei sensori per il rilievo dei flussi veicolari e dei mezzi di trasporto pubblico. La tecnica di controllo automatico da adottare per il sistema, è del tipo “a formazione di piano”, che si basa sul monitoraggio dettagliato dei flussi di traffico e calcola, in tempo reale, il piano semaforico. Il sistema deve essere articolato su due livelli differenziati sia per l’architettura che per la funzionalità: il sistema centrale e il sistema locale (figura 10).

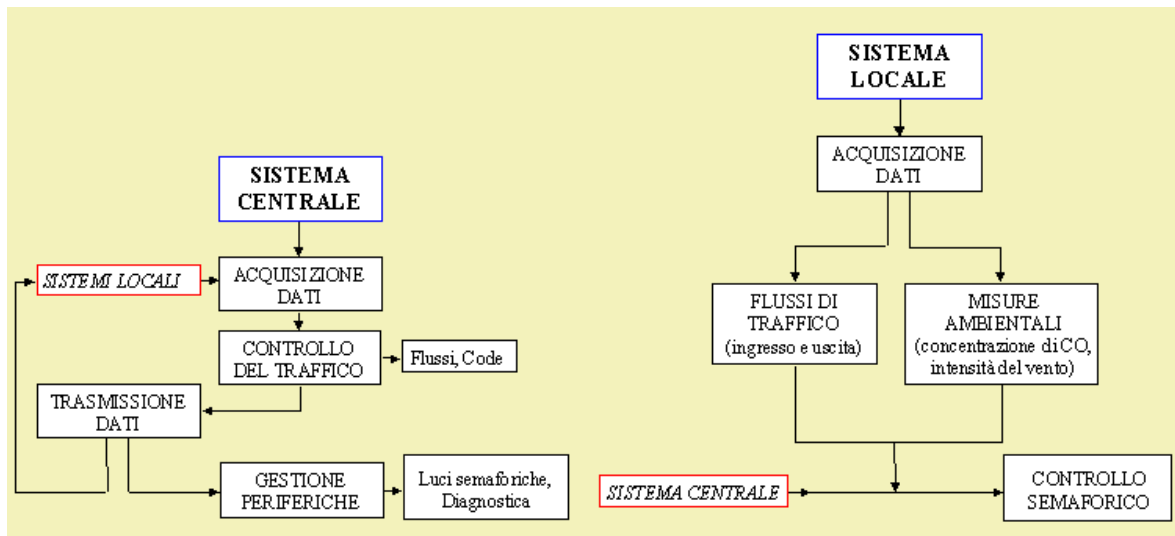


Figura 11: Schematizzazione delle funzioni principali dei Sistemi Locale e Centrale.

Il *sistema centrale* (figura 11) è il controllore di area che costituisce la vera e propria centrale operativa di controllo, mediante un insieme di sottosistemi preposti a svolgere le seguenti funzioni:

1. acquisizione e trasmissione dei dati;
2. controllo del traffico;
3. monitoraggio e visualizzazione, sia su base storica che in tempo reale ed in forma grafica e numerica dei seguenti parametri:
 - i parametri di traffico (flussi, code);
 - lo stato di controllo (luci semaforiche);
 - gli indicatori di prestazione del controllo e della diagnostica;
4. diagnostica;
5. gestione del sistema centrale che, attraverso una rete locale, garantisce:
 - il mantenimento della base dei dati del sistema centrale;
 - la centralizzazione delle librerie e del software di base;

- la funzionalità coordinata;
- lo scambio dei dati tra tutti i diversi sottosistemi.

Il *sistema locale* (figura 11) è il controllore di incrocio che attua il controllo della singola intersezione sulla base del traffico osservato localmente e interagisce con i sistemi locali delle intersezioni vicine. Le funzioni principali del controllo locale sono:

1. l'acquisizione dei dati di traffico elementari (flusso di traffico) suddivisi per corsia stradale e per sensi di marcia, sia in ingresso che in uscita da ogni intersezione controllata;
2. il controllo semaforico (determinazione dei tempi di fase) calcolato per ogni intersezione, sulla base del traffico osservato localmente e delle informazioni provenienti dai controllori vicini e dal livello centrale;
3. la regolazione delle luci attuata mediante l'interfaccia tra il controllore ed il regolatore;
4. la trasmissione delle informazioni tra i diversi livelli locali ed il livello centrale;
5. il rilievo delle concentrazioni di sostanze inquinanti nelle immediate vicinanze dell'incrocio.

Il sistema di controllo è costituito dai seguenti componenti:

- ♦ sensori per il rilievo dei flussi di traffico, posti lungo le corsie delle tratte stradali comprese tra le intersezioni semaforizzate, e collegate con l'apparato di regolazione del traffico;
- ♦ regolatori di traffico, per il colloquio con il controllore e con i sensori di traffico e per l'attivazione del controllo;
- ♦ controllori di incrocio, collegati sia con i controllori degli incroci vicini, sia con la centrale operativa;
- ♦ rete di trasmissione che provvede allo scambio dei messaggi tra i controllori;
- ♦ sistema di rilevamento dell'inquinamento da monossido di carbonio, che comunica con i controllori di incrocio così da variare il piano semaforico in funzione, oltre che del traffico, anche delle concentrazioni di CO, al fine di limitarne le emissioni.

Alla luce dei risultati ottenuti in questa ricerca, per valutare le concentrazioni di CO, al posto della misurazione diretta tramite le centraline di rilevamento del suddetto inquinante, appare proponibile l'impiego di un sistema informatizzato che calcola le concentrazioni mediante un modello gaussiano a partire dagli output (emissioni di inquinanti) forniti da un software di simulazione (ad esempio, TRAF-NETSIM di HCM/Cinema).

Con questo sistema, la concentrazione di monossido di carbonio, si potrebbe ricavare conoscendo i flussi di traffico e la velocità del vento, a mezzo della procedura che ha portato alla “costruzione” degli abachi del tipo quelli riportati in fig. 8 e fig. 9.

I flussi di traffico possono essere dedotti, in tempo reale, mediante i sensori di rilievo del traffico dei sistemi locali che controllano le singole intersezioni. La velocità del vento, invece, può essere misurata utilizzando dei semplici anemometri.

Questo sistema informatizzato deve essere poi posto in comunicazione, mediante la rete di trasmissione, con i regolatori di traffico, in modo tale che questi, in base ai dati ricevuti dal sistema di misura della concentrazione, possano modificare la regolazione semaforica anche in funzione della concentrazione del monossido di carbonio.

Con un siffatto sistema si otterrebbe, inoltre, il vantaggio di aver realizzato un sistema certamente meno costoso rispetto a quello che utilizza le centraline di rilevamento delle concentrazioni di CO.

6. Condizioni di traffico e di qualità dell'aria determinate dalla semaforizzazione proposta.

Nella parte conclusiva di questa ricerca viene descritta la possibile situazione di traffico in una delle intersezioni studiate (l'intersezione regolata mediante semaforo Viale F. Vivaldi – Via S. G. Galermo – Viale A. Usodimare, Fig.12A), in seguito all'attuazione della semaforizzazione mediante il sistema precedentemente illustrato.

E' necessario premettere che per la progettazione di una rete semaforica, bisogna conoscere la circolazione stradale nel senso e nei termini di origine e destinazione, e anche di quantità; significa anche dare la massima agibilità al traffico, comunque decida di circolare. Si osserva poi che se la programmazione del semaforo è sbagliata, essa incide sui flussi veicolari, modificandone gli itinerari, e contribuendo alla formazione di code.

Alla luce di quanto detto, si evince che per qualunque miglioramento della circolazione dovrebbero essere presi in considerazione, oltre che gli interventi connessi alla gestione della semaforizzazione, anche quelli relativi ad una riqualificazione globale della viabilità mediante, ad esempio, l'istituzione, o la soppressione, di alcune manovre, che, magari possono essere deviate su altri itinerari e/o mediante l'allargamento, ove è possibile, degli accessi dei rami all'intersezione.

Per l'intersezione esaminata sono state attuate entrambe queste tipologie di intervento. Infatti, la Via S. G. Galermo è stata considerata a senso unico, da sud verso nord, inoltre è stata aggiunta una corsia di attestamento in corrispondenza dell'accesso sud (figura 12B). Di seguito sono riportati l'istogramma di confronto dei livelli di servizio dell'intersezione, prima (cioè quelli attuali) e dopo l'attuazione della semaforizzazione (figura 13), le modifiche geometriche e di traffico, e i grafici di variazione di CO, in funzione della velocità del vento, derivanti dalle variazioni apportate all'intersezione (figure 14 e 15).

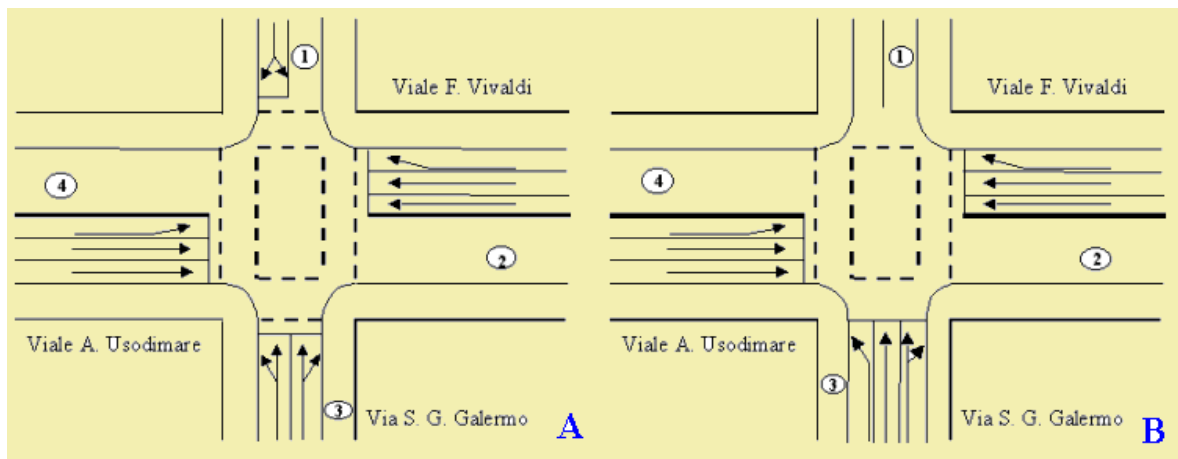


Figura 12: Schema dell'intersezione considerata prima (A) e dopo (B) gli interventi proposti.

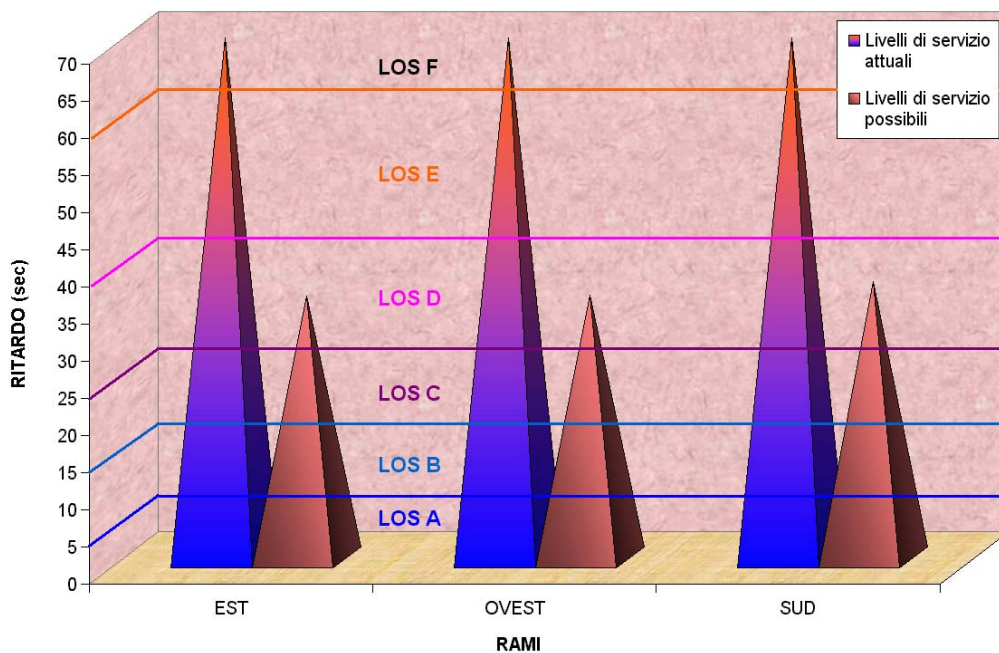


Figura 13: Iistogramma dei livelli di servizio, attuali e possibili, dei rami dell'intersezione Viale A.Usodimare / Via San G. Galermo.

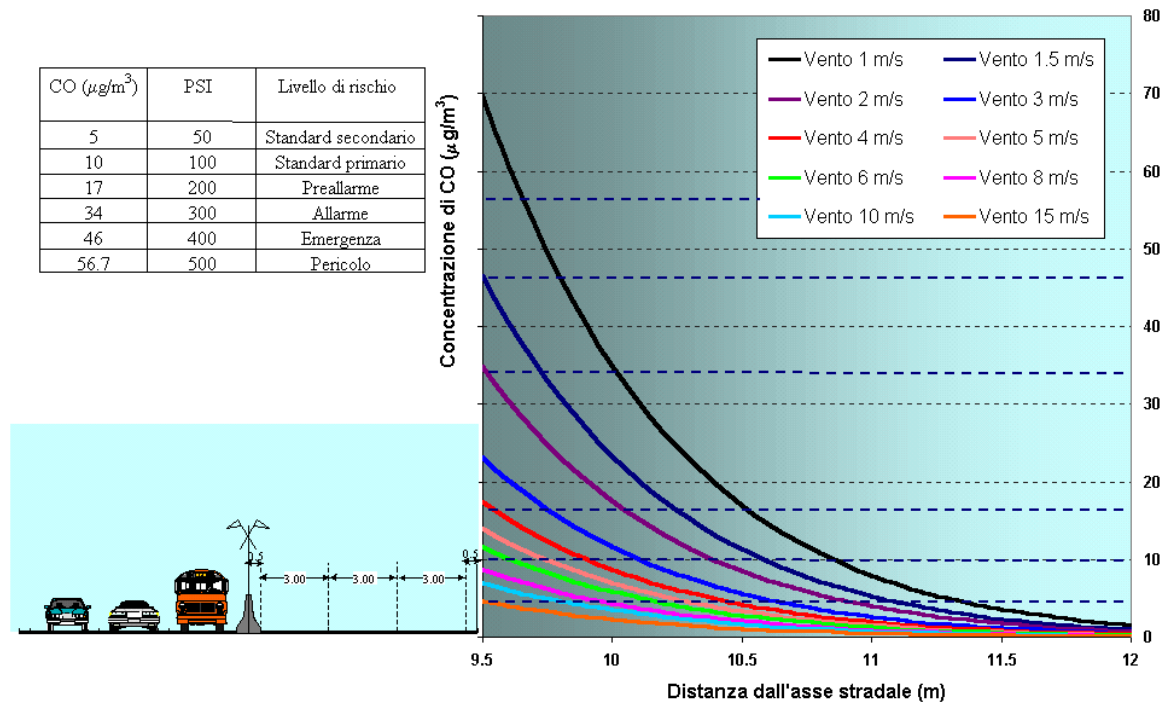


Figura 14: Concentrazioni di CO nella direttrice est-ovest dell'intersezione studiata, dopo la messa in opera del sistema proposto.

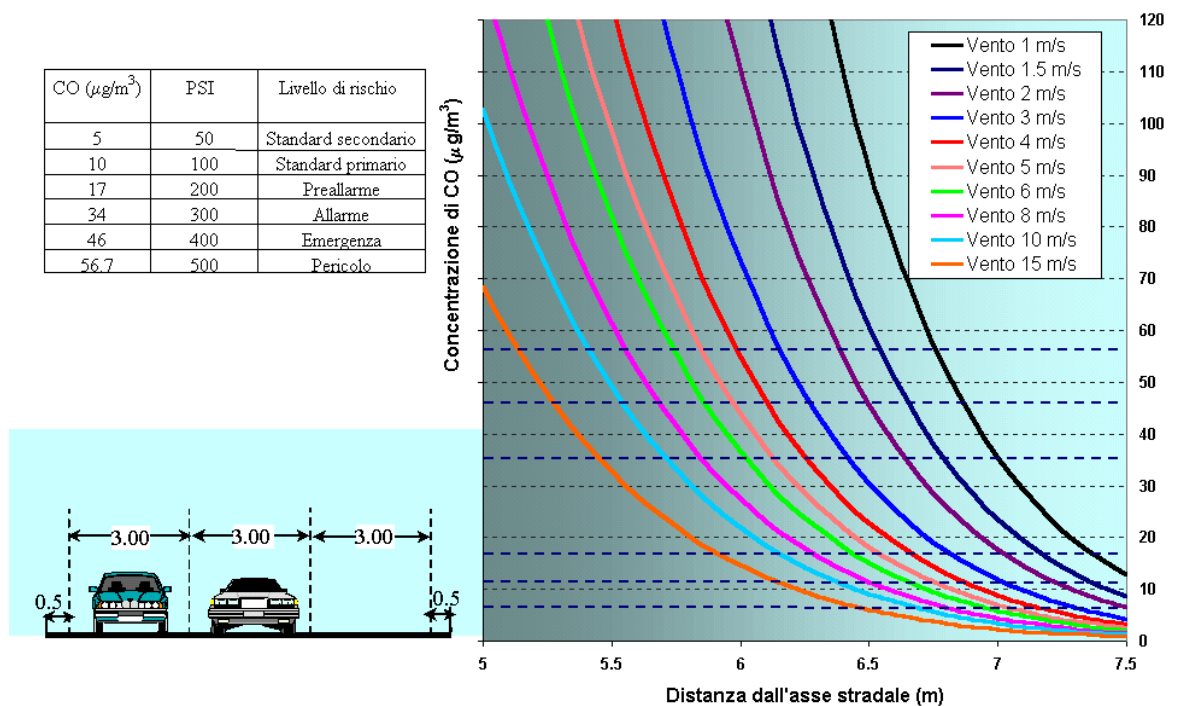


Figura 15: Concentrazioni di CO nella direttrice nord-sud dell'intersezione studiata, dopo la messa in opera del sistema proposto.

In definitiva, dunque, dall'analisi dei diagrammi delle figure 13, 14 e 15 si evince come le condizioni di circolazione e di qualità dell'aria, che emergono conseguentemente all'utilizzo del sistema proposto, siano palesemente migliorate rispetto alla situazione attuale. Infatti, nell'ora di punta, il ritardo per tutti i rami dell'intersezione si dimezza (il livello di servizio complessivo passa da F a D), e, di conseguenza, risulta notevolmente abbattuta la concentrazione di monossido di carbonio, soprattutto in corrispondenza della direttrice normale alla circonvallazione.

7. Conclusioni.

L'Highway Capacity Manual definisce operazione semaforica attuata (Actuated Operation), quella in cui la programmazione della regolazione del traffico viene automaticamente variata in funzione delle rilevazioni di traffico. In linea di massima, dunque, la lunghezza dei cicli e la durata dei tempi di verde possono variare considerevolmente in base alla domanda. Questo consente di ovviare alle limitazioni della semaforizzazione a ciclo fisso che non è in grado di assorbire variazioni impreviste del traffico.

Le motivazioni che hanno condotto alla realizzazione dei controlli semaforici a ciclo attuato dal traffico, sono da ricercarsi nel perseguimento dei seguenti obiettivi:

- 1) aumento della velocità media del traffico privato;
- 2) individuazione delle correnti veicolari prioritarie;
- 3) incremento delle velocità commerciali dei mezzi pubblici;
- 4) adattamento del controllo semaforico ad esigenze straordinarie (polizia, vigili del fuoco, ambulanze, manifestazioni pubbliche, ecc.).

La maggiore sensibilità verso i "problemi ambientali" ha fatto sì che, accanto agli obiettivi appena enunciati, dichiaratamente orientati al miglioramento della qualità della circolazione, si stia diffondendo la tendenza ad una fluidificazione della mobilità viaria mirata al contenimento delle emissioni (acustiche e di sostanze inquinanti) nocive per la qualità dell'ambiente ed, indirettamente, per la salute dell'uomo.

In tal senso, da recente, in alcune città italiane, si stanno sperimentando piani semaforici la cui formazione risulta fortemente condizionata anche dalle misure ambientali (concentrazioni di sostanze inquinanti, temperatura, intensità del vento, ecc.).

In questo contesto si inquadrano i risultati raggiunti in questo studio, in particolare:

- la correlazione tra la qualità dell'aria e la qualità della circolazione;

- la strutturazione di un sistema di semaforizzazione eco-compatibile, in grado di calcolare in tempo reale i piani semaforici, in funzione dei flussi di traffico e delle concentrazioni di sostanze inquinanti.

E' importante, infine, sottolineare come l'utilizzo di sofisticate procedure informatizzate e di modelli di simulazione analitici consenta una previsione accurata dei livelli di concentrazione al suolo dei inquinanti, permettendo di ridurre al minimo l'utilizzo di apparecchiature preposte alle misure ambientali, con indubbi vantaggi anche dal punto di vista del confronto costi-benefici.

6. Bibliografia.

- [1] Angelino E., Tamponi M., Lanzani G., Rinelli S.: *"Strumenti modellistici di previsione dell'inquinamento"*, Le Strade, Anno XCVI, n. 1300, Febbraio 1994.
- [2] Bellasio R., Colucci A., Gualdi R., Merendi L., Tamponi M.: *"Strategie di intervento per ridurre l'inquinamento da traffico nelle aree urbane"*, Le Strade, Anno XCVI, n. 1303, Giugno 1994.
- [3] CNR: *"Norme sull'arredo funzionale delle strade urbane"*, Bollettino Ufficiale n. 150, 15/12/1992.
- [4] Ferrari P.: *"L'influenza della dettagliata definizione delle manovre alle intersezioni sulla assegnazione del traffico alle reti semaforizzate"*, CNR PFT2, Maggio 1996.
- [5] Ferrari P.: *"Un metodo per la scelta di piani del traffico su reti semaforizzate"*, CNR PFT2, Maggio 1995.
- [6] Festa D. C. (1993): *"Metodi operativi per la V.I.A. delle infrastrutture di trasporto: modelli di settore per le infrastrutture stradali e ferroviarie"*, CNR PFT2, Dicembre 1993.
- [7] Guerra C., Mussone L. (1995): *"Linee evolutive della regolazione semaforica nel controllo del traffico urbano"*, Trasporti e Trazione, Anno VIII, n. 1, Febbraio 1995.
- [8] Ignaccolo M., Giunta U.: *"Evoluzione del deflusso veicolare lungo la circonvallazione nord di Catania"*, Le Strade, Anno XCVIII, n. 1322, Settembre 1996.
- [9] KLD Associates, Inc. and Polytechnic University: *"HCM/Cinema, The Full Picture on intersection capacity and level of service, User Guide"*, Copyright 1990, KLD Associates, Inc. All rights reserved.
- [10] Kronborg P., Davidsson F.: *"MOVA and LHOVRA: traffic signal control for isolates intersections"*, Traffic Engineering + Control, Vol. 34, n. 4, Aprile 1993.
- [11] Olivari M.: *"Una proposta metodologica per correlare qualità ambientale e livelli di servizio di strade urbane"*, Il trasporto pubblico nei sistemi urbani e metropolitani (Vol. 2) - Ed. Franco Angeli -1997.
- [12] Podestà C., Cemin A., Maja R., Pozzi M., Sada S. (1997): *"Modelli di stima delle emissioni inquinanti a livello areale, di rete e di singola intersezione"*, Convegno CNR PFT2, Taormina, Novembre 1997.
- [13] Transportation Research Board (Ottobre 1994): *"Highway Capacity Manual"*, Capitolo 9 "Signalized Intersections".
- [14] Vismara R.: *"Ecologia applicata"*, (Inquinamento e salute umana - Criteri di protezione dell'aria, delle acque, del suolo - Valutazione di impatto ambientale - Esempi di calcolo) - Ed. Hoepli - 1992.