

FUNZIONALITÀ E SICUREZZA DI INTERSEZIONI STRADALI URBANE. UN INTERVENTO PROGETTUALE NEL CAMPUS UNIVERSITARIO DI PALERMO

Di Mino G. – Di Liberto C. M.***

**Professore Associato, Università degli Studi di Palermo, gaetano.dimino@unipa.it*

***Dottore di Ricerca, Università degli Studi di Palermo, maurizio.diliberto@unipa.it*

SOMMARIO

Le statistiche ISTAT evidenziano che in Italia più del 50% degli incidenti stradali in ambito urbano avviene in corrispondenza delle intersezioni.

Ciò è certamente riconducibile alla forte interazione tra i vari flussi di utenti, nonché all'elevata presenza di punti di conflitto. Tuttavia una delle principali cause d'incidentalità può essere dovuta anche ai difetti delle infrastrutture esistenti, i quali possono indurre nell'utente errori di percezione dell'ambiente stradale o anche amplificare gli effetti di lievi distrazioni della guida, innescando, in tal modo, i presupposti per la nascita dell'evento incidentale.

In tale scenario il crescente interesse dell'opinione pubblica nei confronti della sicurezza della circolazione induce gli Enti gestori delle infrastrutture stradali ad una maggiore attenzione nei riguardi dell'individuazione e dell'analisi dei fattori di rischio, in modo da definire le possibili soluzioni da adottare, con particolare riferimento ai punti singolari costituiti dalle intersezioni, al fine di ridurre l'incidentalità e migliorare le condizioni di circolazione.

In questo lavoro è presentata l'esperienza concernente la riqualificazione funzionale di una serie di tre intersezioni consecutive ricadenti nell'area Parco d'Orleans del Campus dell'Università degli Studi di Palermo. L'utilizzo del Safety Review e dell'approccio sperimentale per la determinazione dei parametri di sistema ha consentito l'elaborazione di soluzioni non solo più adeguate dal punto di vista della sicurezza stradale, ma anche più efficienti sotto il profilo della funzionalità.

ABSTRACT

The Italian statistics ISTAT declare that over 50% of urban street accidents take place by intersections.

The growing attention of the public opinion about road safety leads the road Agencies to identify the risk causes, to cut down the accident number and to improve the quality of the traffic flow.

In this paper we have showed the functional requalification of the three intersections in succession placed in the Campus of the University of Palermo.

We have implemented the Safety Review methodology and an experimental approach by evaluating the geometric and traffic parameters; so we have found a technical solutions to improve both the safety and the quality of the traffic flow.

Keywords: Safety Review, quality of traffic flow, intersection.

1. INTRODUZIONE

Le statistiche ISTAT rilevano in Italia quale scenario di incidente più ricorrente l'ambito urbano. Ogni anno sulle strade urbane si verificano oltre 170.000 incidenti, circa il 75% del totale, i quali causano più di 220.000 feriti, nonché la morte di oltre 2.000 persone (circa il 40% dei decessi in incidenti stradali).

L'elevato tasso d'incidentalità riscontrato nelle città è certamente correlato alla tipicità della circolazione stradale urbana, caratterizzata dalla continua ed intensa interazione tra le diverse componenti di traffico che incrementa il rischio di collisione tra i veicoli.

Se si considera che circa la metà degli incidenti in ambito urbano avvengono in corrispondenza delle intersezioni semaforizzate e no, si ha la riprova di quale incidenza abbiano i punti di conflitto delle traiettorie veicolari sulla probabilità di collisione.

La criticità delle intersezioni, quali luoghi di concentrazione della sinistrosità urbana, è ancora più preoccupante per i cosiddetti utenti deboli, come ad esempio i motociclisti, i quali risultano essere maggiormente vulnerabili in caso di collisione; non a caso le statistiche indicano che oltre il 50% dei decessi avvenuti sulle strade urbane riguarda conducenti o passeggeri di veicoli a due ruote (ISTAT, 2007).

Insieme alle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", D.M. n. 6792 del 5/11/2001 e ss.mm.ii, ed alle più recenti "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali", promulgate con D.M. del 19/04/06, il legislatore, ravvisando la necessità di una verifica preventiva della sicurezza stradale allo scopo di riconoscere e valutare le condizioni di rischio potenziale per la circolazione, con particolare attenzione rivolta all'utente della strada, già nel 2001, con circolare n. 3699 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, emanava le "Linee guida per le verifiche di sicurezza delle strade".

In tale documento, che contiene una metodologia di analisi applicabile in modo flessibile a qualunque elemento della rete stradale, a seconda dei dati preliminari disponibili, emerge chiaramente un atto di indirizzo per gli Enti proprietari e gestori delle strade, i quali vengono così stimolati ad individuare ed analizzare i fattori di rischio in modo da definire le possibili soluzioni di riduzione dell'incidentalità e miglioramento delle condizioni di circolazione.

Il presente lavoro riporta l'esperienza maturata durante lo studio per la definizione di un intervento di riqualificazione di una serie di tre intersezioni consecutive ricadenti nell'area Parco d'Orleans del Campus dell'Università degli Studi di Palermo. La riqualificazione deve essere dunque intesa come conseguimento concomitante di maggiore sicurezza e funzionalità sia di ciascuna intersezione sia della sequenza nel suo complesso.

2. DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO

L'area presa in considerazione è situata all'interno del Campus dell'Università degli Studi di Palermo. Il tratto di strada esaminato riguarda la parte di Viale delle Scienze posizionata tra i primi due ingressi alla cittadina universitaria (Fig. 1) e comprende la serie di 3 intersezioni tramite le quali è possibile accedere alle aree parcheggio prospicienti e retrostanti la Facoltà di Ingegneria.

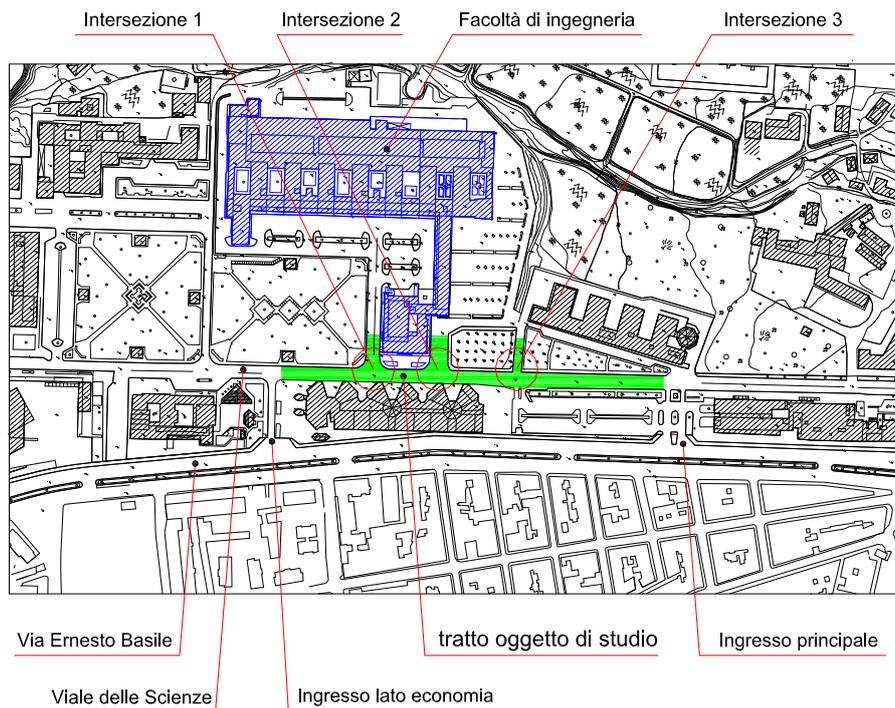


Figura 1 – Stralcio planimetrico dell'area oggetto di studio

Al fine di identificare sinteticamente le intersezioni studiate, procedendo dall'ingresso secondario al principale, ognuna di esse è stata numerata da uno a tre.

Il tronco principale (Viale delle Scienze) è costituito da una strada a doppio senso di circolazione la cui carreggiata, avente larghezza di 11,8 m, è organizzata come di seguito descritto: su entrambi i lati della strada, per tutto il tratto considerato, è consentita la sosta dei veicoli ed è quindi presente la segnaletica orizzontale per la delimitazione degli stalli di sosta (larghezza 2,3 m); la carreggiata è costituita da due corsie, una per ogni senso di marcia, aventi larghezza di 3,6 m. Tutto il tratto è caratterizzato da una pendenza longitudinale del 2,7%, in direzione ingresso principale-secondario.

L'intersezione 1, caratterizzata da una configurazione planimetria a T con angolo di deviazione degli assi pari a 90°, permette di accedere all'area parcheggio prospiciente gli edifici della facoltà di Ingegneria (Fig. 1 e 2). L'asse secondario, avente da una

larghezza complessiva di 12 m, è costituito da due carreggiate, una per ogni senso di marcia, separate da un cordolo in calcestruzzo avente larghezza di 40 cm; ogni carreggiata consta di una corsia di marcia avente larghezza di 3,55 m e dagli stalli per la sosta dei veicoli sul margine destro (larghezza 2 m); la strada presenta una pendenza longitudinale dello 0,8% nella direzione di immissione all'intersezione.

Le manovre di attraversamento e di svolta sono tutte consentite ed avvengono su corsie promiscue; in particolare le manovre di svolta a sinistra e a destra dalla strada secondaria sono regolamentate dal segnale di dare precedenza.



Figura 2 – Riprese fotografiche delle intersezioni 1 e 2

L'intersezione 2, anch'essa caratterizzata da una configurazione planimetrica a T con angolo di deviazione degli assi pari a 90° , permette di accedere all'area parcheggio retrostante gli edifici della facoltà di Ingegneria (Fig. 1 e 2). La carreggiata della strada secondaria presenta una larghezza complessiva di 14,1 m e risulta composta da due corsie, una per ogni senso di marcia, aventi larghezza di 2,9 m. Su entrambi i margini della strada sono inoltre presenti gli stalli per la sosta dei veicoli: in particolare, considerando il verso di marcia che immette all'intersezione, sul lato destro gli stalli sono organizzati con disposizione ortogonale all'asse (lunghezza 4,3 m), mentre sul lato sinistro si riscontra una disposizione obliqua che impegna una fascia di strada avente larghezza di 4 m.

In corrispondenza dell'intersezione la strada secondaria presenta una configurazione altimetrica pressoché pianeggiante, con pendenza longitudinale pari a 0,1% in discesa nel senso di immissione all'intersezione.

Anche in questo caso le manovre di attraversamento e di svolta, sia dalla strada principale che dalla secondaria, sono tutte consentite ed avvengono su corsie promiscue, con manovre di svolta dalla strada secondaria regolamentate dal segnale di dare precedenza.

Anche l'intersezione 3 rientra nel classico schema di intersezione a T. Tuttavia proprio in corrispondenza di essa, sull'altro lato della strada principale, è situato l'accesso ad un'area parcheggio (Fig. 3): ai fini della valutazione del grado di funzionalità, l'intersezione è stata considerata come un incrocio a 4 bracci.

La strada secondaria, ad unico senso di marcia (verso l'area parcheggio retrostante la Facoltà di Ingegneria), presenta una larghezza di 7,5 m ed ha una pendenza longitudinale pari a 0,6% in discesa. E' opportuno osservare che lungo essa non è

installato alcun segnale per il divieto di sosta e pur non essendo presente la segnaletica orizzontale per la delimitazione degli stalli, di fatto entrambi i lati della carreggiata vengono regolarmente utilizzati come zone di sosta, restringendo così la larghezza della sede utile per la marcia a circa 3,5 m.

Le manovre di attraversamento e di svolta dalla strada principale sono tutte consentite ed anche in questo caso avvengono su corsie promiscue.



Figura 3 – Ripresa fotografica dell'intersezioni 3

3. METODOLOGIA SPERIMENTALE

La campagna di rilevamento del traffico insistente sull'arteria in studio, si è indirizzata sulla determinazione di:

- velocità istantanee dei veicoli in corrispondenza di prefissate sezioni di controllo, tramite le quali sono state successivamente calcolate le velocità operative delle correnti veicolari;
- entità e composizione dei flussi di traffico.

I rilievi sono stati eseguiti in due diversi periodi dell'anno 2007:

- 5 giornate nel mese di luglio, in modo da valutare condizioni di circolazione caratterizzate da bassi flussi di traffico e velocità operative medio-alte;
- 4 giornate nel mese di ottobre, rappresentative delle condizioni di circolazione caratterizzate da alti valori dei flussi di traffico e velocità operative medio-basse.

3.1 Rilievi di velocità

I rilievi di velocità sono stati effettuati con l'ausilio di autovelox KV Laser.

Tali autovelox sono stati posizionati secondo lo schema riportato in figura 4, individuando così sulla strada principale 4 sezioni di osservazione.

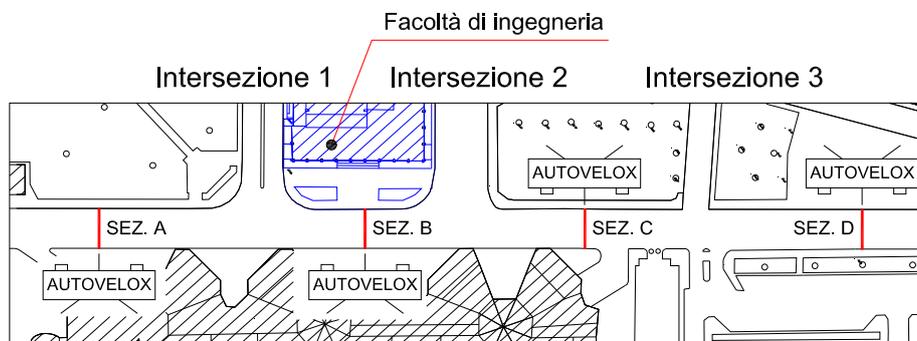


Figura 4 – Schema di posizionamento degli autovelox

Gli apparecchi sono stati installati all'interno di veicoli parcheggiati in corrispondenza delle suddette sezioni (Fig. 5), consentendone così l'opportuno occultamento.



Figura 5 – Riprese fotografiche degli autovelox durante i rilievi

Ogni giornata di rilievo ha avuto una durata di 5-6 ore (dalle 8.00 alle 14.00) in modo da acquisire un numero di dati statisticamente rappresentativo.

Per ogni sezione di rilievo, e per entrambe le direzioni di marcia, è stata calcolata la velocità dell'85° percentile (V_{85}) del campione osservato, filtrando preventivamente i dati di tutte le misure caratterizzate da un distanziamento temporale inferiore a 5 secondi ed eliminando, in tal modo le velocità osservate quando vi era mutuo condizionamento tra veicoli in marcia.

Tabella 1 – V_{85} su viale delle Scienze

| Direzione | V_{85} [km/h] | | | |
|-------------------------------------|-----------------|--------|-------|--------|
| | Sez. A | Sez. B | Sez.C | Sez. D |
| Ingr. principale / ingr. secondario | 45 | 46 | 47 | 45 |
| Ingr. secondario / ingr. principale | 45 | 47 | 49 | 45 |

In tabella 1 sono riportati i valori delle V_{85} massime riscontrate in corrispondenza delle 4 sezioni di misura e per entrambe le direzioni di marcia.

3.2 Rilievi di traffico

I rilievi di traffico sono stati eseguiti utilizzando la tecnica del monitoraggio video con trattamento manuale dei filmati. Il rilevamento è stato effettuato collocando 3 telecamere digitali (una per ogni intersezione) all'interno degli edifici limitrofi alle zone da filmare, ad una quota di circa 6 m rispetto al piano stradale (Fig. 6). Ciò ha permesso di filmare, secondo un'unica inquadratura, tutte le manovre complessivamente interessate da ogni intersezione.

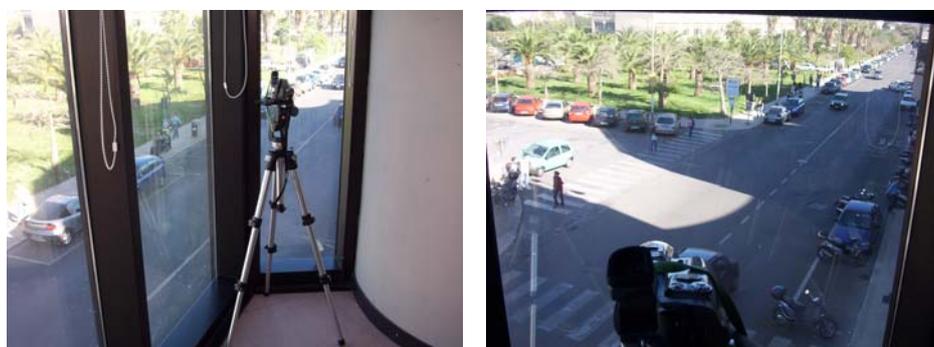


Figura 6 – Postazione di ripresa delle intersezioni

Le giornate di rilievo sono state scelte escludendo il sabato e la domenica, mentre il periodo di rilievo è stato fissato tra le 9.00 e le 12.00, essendo questo l'intervallo temporale entro il quale si verificano i maggiori picchi di traffico.

In corrispondenza delle condizioni di traffico più intenso, per tutte le intersezioni analizzate, sono state ricavate le portate di punta.

Tabella 2 – Portate orarie di punta disaggregate

| Legenda | Intersezione 1 | | | | |
|---------|----------------|-----------|-------------|---------------|--------------|
| | Manovra | Motocicli | Autoveicoli | Veicoli lenti | Tot. veicoli |
| | 1-2 | 175 | 325 | 8 | 508 |
| | 2-1 | 320 | 449 | 12 | 781 |
| | 1-3 | 66 | 101 | 0 | 167 |
| | 3-1 | 22 | 70 | 0 | 92 |
| | 2-3 | 92 | 101 | 0 | 193 |
| | 3-2 | 26 | 72 | 1 | 99 |
| | Totale | 701 | 1118 | 21 | 1840 |

In tabella 2 sono riportati, nel caso dell'intersezione 1, i valori delle portate orarie di punta, disaggregate per tipologia di manovra e di veicolo. Il dato mostra una consistente presenza di motocicli, che costituiscono circa il 38% dei veicoli che impegnano complessivamente l'intersezione, ed il 47% dei veicoli che eseguono la manovra di svolta a destra dalla strada principale alla strada secondaria.

Per omogeneizzare i dati di traffico disaggregati sono stati utilizzati coefficienti proposti da Canale et al. (2006). Sono state, infine, costruite, per ogni una delle intersezioni analizzate, le matrici Origine/Destinazione, le quali sono riportate nelle tabelle 3, 4 e 5.

Tabella 3 – Matrice O/D intersezione 1

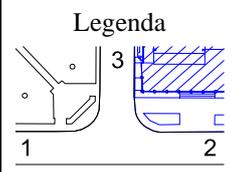
| Legenda | Flussi di traffico [veic/h] | | | |
|---|-----------------------------|-----|-----|-----|
| | O\D | 1 | 2 | 3 |
|  | 1 | | 425 | 134 |
| | 2 | 627 | | 147 |
| | 3 | 81 | 87 | |

Tabella 4 – Matrice O/D intersezione 2

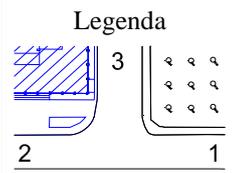
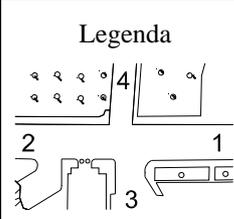
| Legenda | Flussi di traffico [veic/h] | | | |
|---|-----------------------------|-----|-----|----|
| | O\D | 1 | 2 | 3 |
|  | 1 | | 649 | 23 |
| | 2 | 452 | | 68 |
| | 3 | 69 | 124 | |

Tabella 5 – Matrice O/D intersezione 3

| Legenda | Flussi di traffico [veic/h] | | | | |
|---|-----------------------------|-----|-----|-----|----|
| | O\D | 1 | 2 | 3 | 4 |
|  | 1 | | 634 | 36 | 92 |
| | 2 | 369 | | 127 | 55 |
| | 3 | 21 | 49 | | 25 |
| | 4 | 5 | 1 | 1 | |

4. ANALISI DI SICUREZZA DELLE INTERSEZIONI

Il carattere distintivo di una riqualificazione stradale è legato, quasi sempre all'innalzamento degli standard di sicurezza della circolazione. L'intervento sulle tre intersezioni in esame non sfugge a questo peculiare criterio, ponendo particolare riguardo ai veicoli a 2 ruote, che qui costituiscono una componente rilevante dello spettro di traffico.

Pur in assenza di precedenti studi sull'incidentalità, così come segnalato dall'Ente gestore, è possibile affermare che il sito è caratterizzato da una notevole frequenza di incidente con protagonisti, sovente, ciclomotori e motocicli.

Secondo quanto riferito dai tecnici dell'Ente, i sinistri, nel loro complesso, sono comunque quasi sempre di lieve, quando non lievissima, entità e pertanto sfuggono alla registrazione statistica di incidentalità.

Con questi presupposti lo studio della sicurezza della circolazione è stato affrontato con l'ausilio della metodologia del Road Safety Review, che sinteticamente identifica le caratteristiche tecniche, geometriche e funzionali che contribuiscono alla genesi degli incidenti stradali, permettendo, così, di definire sistemazioni e interventi risolutivi, o migliorativi, della sicurezza, nella maggior parte dei casi realizzabili in tempi brevi e con costi contenuti.

La metodologia risulta essere molto flessibile e può essere applicata su un intero tracciato come su una singola intersezione e con diversi livelli di approfondimento, a seconda del tempo e dei dati preliminari disponibili.

Al fine di applicare la procedura del Safety Review al caso delle intersezioni oggetto di studio si è proceduto preventivamente alla predisposizione di checklist specializzate al caso delle intersezioni a raso in ambito urbano. Esse, costituite essenzialmente da un elenco di domande relative ad aspetti che possono essere all'origine d'incidenti, rappresentano uno strumento utile per aiutare il gruppo di analisi nell'individuazione dei problemi legati alla sicurezza.

Le checklist, pur non essendo esaustive di tutti gli argomenti da considerare nelle analisi, rappresentano un valido aiuto al fine di non tralasciare aspetti importanti legati alla sicurezza e costituiscono, inoltre, un'utile traccia per la formulazione del rapporto finale.

I temi considerati nelle liste di controllo hanno riguardato:

- le condizioni di traffico;
- la geometria dell'area di intersezione;
- i problemi inerenti parcheggi e soste;
- la visibilità e leggibilità della segnaletica;
- gli interventi di moderazione della velocità;
- le condizioni della pavimentazione (in termini di aderenza e regolarità);
- gli accessi.

Alcuni aspetti, come ad esempio quelli legati alle condizioni ambientali o alle condizioni di illuminazione notturna, sono stati trascurati in ragione del fatto che, nel caso in analisi, non comportano un elevato pericolo per l'utente della strada.

A titolo esemplificativo, in tabella 6 si riporta, relativamente agli aspetti geometrici, uno stralcio della lista di controllo utilizzata.

Si è quindi proceduto all'ispezione del sito ed all'analisi dei problemi di sicurezza riscontrati.

Per ragioni di sintesi si riporta in tabella 7 uno stralcio del rapporto di analisi relativo alla sola all'intersezione 1. Dal documento si evincono alcuni dei problemi riscontrati (descritti in termini di tipologia d'incidente che potrebbe verificarsi) e vengono suggerite le possibili soluzioni al problema individuato.

Tabella 6 – Esempio di checklist relativa agli aspetti geometrici

| ASPETTI GEOMETRICI |
|---|
| È garantita una buona visibilità alle diverse tipologie di utenti e per i diversi rami di approccio all'intersezione? |
| Le distanze di visibilità, in prossimità o all'interno dell'intersezione, potrebbero risultare in qualche caso compromesse dalla presenza di elementi di arredo urbano, o comunque di contorno? |
| Potrebbero nascere problemi connessi ad una crescita particolare della vegetazione in qualche stagione dell'anno? |
| Le potenziali code che si possono formare in corrispondenza dell'incrocio sono visibili da distanze adeguate per l'arresto dei veicoli che sopraggiungono? |
| L'intersezione garantisce una regolare circolazione del traffico previsto? |
| Lo schema di intersezione utilizzato è compatibile con i volumi di traffico relativi alle varie manovre? E' necessario inserire corsie specializzate? |
| La velocità operativa in prossimità dell'intersezione è compatibile con le caratteristiche geometriche degli elementi compositivi? |
| Ci sono molti punti di conflitto? La canalizzazione degli utenti è ben realizzata? |
| Sono presenti isole di canalizzazione, ed in caso affermativo, sono correttamente dimensionate? |
| Eventuali isole di rifugio presenti sono correttamente dimensionate e attrezzate? |
| La geometria dei cigli esterni per la svolta a destra e la relativa fascia d'ingombro è ben proporzionata? |
| Le pendenze trasversali e le canalette permettono il corretto smaltimento dell'acqua piovana? |
| ... |

Tabella 7 – Rapporto di analisi relativo all'intersezione 1

| |
|---|
| <p>Problema L'intersezione non garantisce una regolare circolazione del traffico previsto. Lo schema di intersezione utilizzato non è compatibile con i volumi di traffico relativi alle manovre di svolta.</p> <p>Raccomandazione E' necessario inserire corsie specializzate per le svolte a sinistra ed a destra dalla strada principale e per la svolta a sinistra dalla strada secondaria.</p> |
| <p>Problema Ci sono molti punti di conflitto. Le manovre di svolta non sono canalizzate ed i veicoli possono essere indotti ad effettuare traiettorie scorrette (con manovre correttive all'ultimo istante) provocando incidenti per scontro frontale/laterale. I veicoli a due ruote sono particolarmente vulnerabili.</p>  <p>Raccomandazione E' necessario introdurre soluzioni mirate alla canalizzazione dei flussi veicolari: realizzazione di isole di canalizzazione; eliminazione delle corsie promiscue con inserimento di corsie specializzate; realizzazione di corsie di accumulo e di immissione per consentire all'utente di compiere le manovre in sicurezza.</p> |

| |
|--|
| <p>Problema La visibilità, in corrispondenza di ogni ramo dell'intersezione, è compromessa dalla presenza dei veicoli in sosta.</p>  <p>I veicoli in sosta ostacolano la visibilità agli utenti che devono compiere la manovra di svolta.</p> |
| <p>Raccomandazione Eliminare la sosta lungo il margine sinistro (direzione di marcia verso l'ingresso principale) della strada principale.</p> |
| <p>Problema La velocità operativa supera il limite consentito all'interno dell'area in esame. In condizioni di traffico rado l'utente è incline ad aumentare la velocità di marcia compromettendo la sicurezza della circolazione. Gli utenti deboli sono particolarmente a rischio.</p> <p>Raccomandazione Può essere opportuno realizzare interventi per la moderazione della velocità, come ad esempio l'inserimento di una successione di dossi.</p> |
| <p>Problema La segnaletica è in alcuni luoghi assente, poco visibile o poco chiara. Sono presenti cartelli o insegne pubblicitarie non autorizzati che in molti casi mascherano la segnaletica verticale.</p> <p>Raccomandazione Realizzazione/rifacimento della segnaletica orizzontale nei luoghi ove è assente/poco chiara. Sistemazione ed integrazione della segnaletica verticale. Rimozione di cartelli ed insegne pubblicitarie non autorizzate.</p> |
| ... |

5. INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE

Dall'analisi di sicurezza sono emersi una serie di problemi in funzione dei quali si è proceduto alla definizione dell'intervento di riqualificazione.

Considerato, inoltre, che le tre intersezioni sono ravvicinate tra loro ($d_{12}=68$ m; $d_{23}=70$ m) il migliore approccio risulta l'analisi integrata del sito, in modo da definire una "soluzione di sistema" capace di coordinare planimetricamente gli elementi compositivi necessari alla riqualificazione di ogni singola intersezione.

Tale obiettivo è stato raggiunto considerando l'opportunità di assegnare all'intersezione 2 il compito di smaltire i flussi di traffico in uscita dall'area parcheggio retrostante gli edifici della Facoltà di Ingegneria, ed attribuendo all'intersezione 3 la funzione di smaltire i flussi in ingresso all'area suddetta.

La soluzione cambia, quindi, totalmente l'organizzazione dell'intersezione 2, instaurando nella strada secondaria il senso unico di circolazione verso la strada principale, mentre lascia inalterate, almeno dal punto di vista dell'organizzazione della circolazione, le altre intersezioni.

Nelle figure 6, 7 ed 8 sono riportate le soluzioni progettuali individuate.

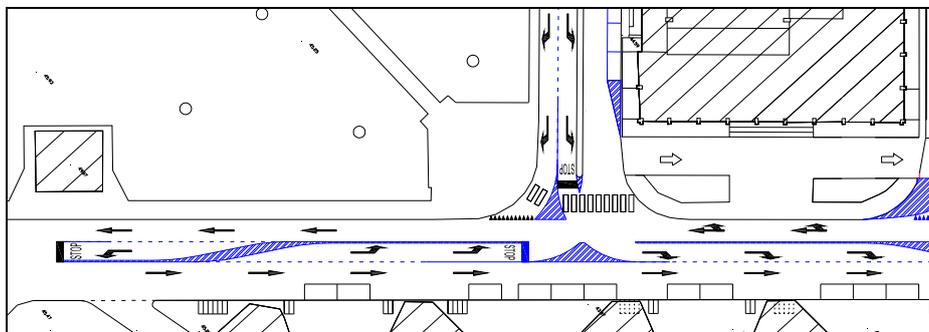


Figura 7 – Soluzione progettuale per l'intersezione 1

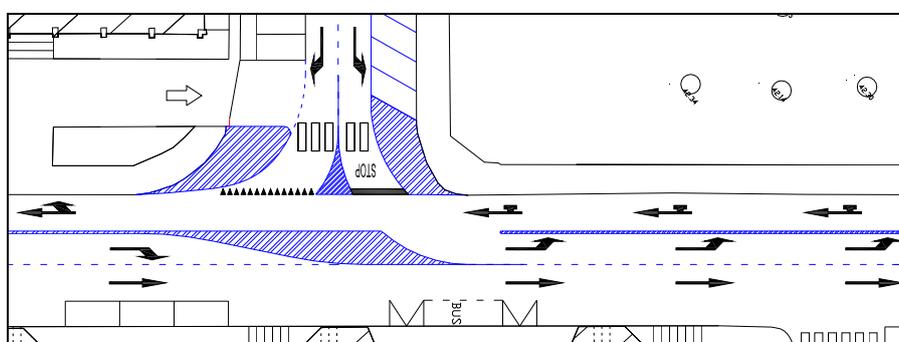


Figura 8 – Soluzione progettuale per l'intersezione 2

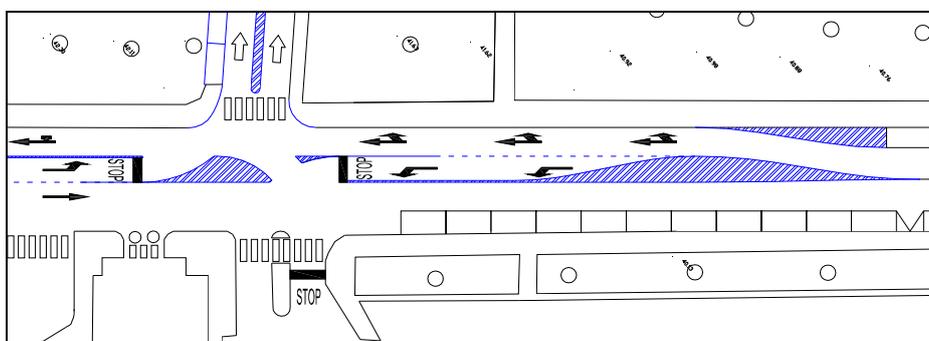


Figura 9 – Soluzione progettuale per l'intersezione 3

In tabella 8 sono riportati, in sintesi, gli interventi di sistemazione previsti per ciascuna intersezione, la cui geometria è conforme al D.M. 19/04/06.

A monte dell'intersezione 1 si è prevista, inoltre, la realizzazione di una corsia centrale di accumulo per i veicoli che dalla strada principale devono svoltare a sinistra per immettersi verso l'uscita secondaria della cittadella universitaria.

Tabella 8 – Matrice degli interventi

| INTERSEZIONE | TIPOLOGIE D'INTERVENTO | | | | | | | |
|--------------|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | H |
| 1 | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| 2 | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 3 | ✓ | | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |

Legenda:
 A = Eliminazione dei parcheggi sulla strada principale e/o secondaria
 B = Adeguamento degli stalli per la sosta dei veicoli al nuovo regime di circolazione
 C = Realizzazione di corsie specializzate per le svolte a sinistra ed a destra dalla strada secondaria
 D = Inserimento di una corsia centrale di accumulo per la svolta a sinistra dalla strada principale
 E = Inserimento di una corsia centrale di immissione per la svolta a sinistra dalla strada secondaria
 F = Sistemazione dei cigli delle corsie di svolta
 G = Realizzazione di isole di traffico per la canalizzazione dei flussi
 H = Realizzazione della segnaletica orizzontale ed adeguamento della segnaletica verticale

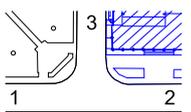
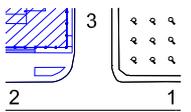
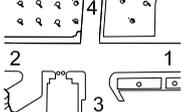
6. GRADO DI FUNZIONALITÀ DELLE INTERSEZIONI

Il grado di funzionalità di ciascuna intersezione è stato valutato (TRB 2000) sia sullo scenario reale, sia nell'ipotesi di realizzazione dell'intervento di riqualificazione.

In tabella 9, per ognuna delle intersezioni analizzate, sono riportati i ritardi medi di controllo di ogni manovra ed i conseguenti livelli di servizio (LdS).

L'intervallo T di riferimento per le analisi è stato assunto pari a 15 minuti eccetto che per le manovre risultanti in condizioni di sovrasaturazione ($\rho=D/C>1$), per le quali l'approccio statistico in condizioni stazionarie non è valido.

Tabella 9 – Grado di funzionalità delle intersezioni

| INTERSEZIONE | Manovra | STATO DI FATTO | | | SOLUZIONE PROGETTUALE | | |
|---|-----------------------------------|----------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|
| | | 1-3 | 3-2 | 2-3 | 1-3 | 3-2 | 2-3 |
|  | Grado di saturazione $\rho = D/C$ | 0,38 | 1,88 | 0,38 | 0,38 | <1,88 | 0,38 |
| | Ritardo medio [sec] | 21,07 | 282,00 | 1305,34 | 21,07 | <282 | 32,19 |
| | LdS | C | F | F | C | - | D |
| | Manovra | 1-3 | 3-2 | 2-3 | 1-3 | 3-2 | 2-3 |
|  | Grado di saturazione $\rho = D/C$ | 0,12 | 1,34 | 1,1 | - | 0,41 | 0,26 |
| | Ritardo medio [sec] | 12,55 | 429,00 | 242,25 | - | 25,50 | 23,27 |
| | LdS | B | F | F | - | D | C |
| | Manovra | 2-3 | 3-2 | 3-1 | - | 3-2 | 3-1 |
|  | Grado di saturazione $\rho = D/C$ | 0,12 | 0,06 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | |
| | Ritardo medio [sec] | 18,80 | 14,72 | 12,85 | 12,85 | 10,50 | |
| | LdS | C | B | B | B | B | |
| | Manovra | 2-4 | 1-3 | 2-4 | 1-3 | | |

Quando il valore della domanda D eccede notevolmente il valore della capacità C ($D>3C$) le code assumono lunghezze molto elevate e le variazioni di natura aleatoria

possono essere trascurate; in tali condizioni il ritardo medio di sovrappiù risulta essere funzione della durata del periodo di picco e può essere calcolato utilizzando un approccio di tipo deterministico. Ma, per D/C notevolmente al di sotto l'unità, la probabilità di sovrappiù dovuta alle fluttuazioni casuali è molto bassa, ed in tal senso l'approccio probabilistico in condizioni stazionarie risulta appropriato (TRB 1975).

Per ognuno dei due approcci sopra descritti, in figura 10 sono riportati gli andamenti tipici del tempo di ritardo medio in funzione del grado di saturazione $\rho=D/C$.

Quando il rapporto D/C è vicino all'unità, il ritardo medio risulta essere sovrastimato dai modelli di tipo deterministico e sottostimato da quelli che utilizzano l'approccio probabilistico. In questo caso può essere utilizzato il metodo di "trasformazione delle coordinate", secondo il quale il ritardo medio è calcolato come una combinazione tra quello ottenuto col modello deterministico e quello relativo al modello probabilistico, in modo tale che sia verificata la relazione:

$$\rho / \rho_D = \rho_n,$$

dove ρ_n e ρ_D sono i gradi di saturazione che con i modelli, rispettivamente probabilistico e deterministico, forniscono valori del ritardo medio pari a quello corrispondente al grado di saturazione ρ (Luttinen R. T. 2004).

Il ritardo medio è, quindi, funzione del periodo di osservazione e può essere calcolato utilizzando la nota relazione proposta dall'HCM 2000, purché il periodo di analisi T sia sufficientemente ampio da includere la fase di sovrassaturazione.

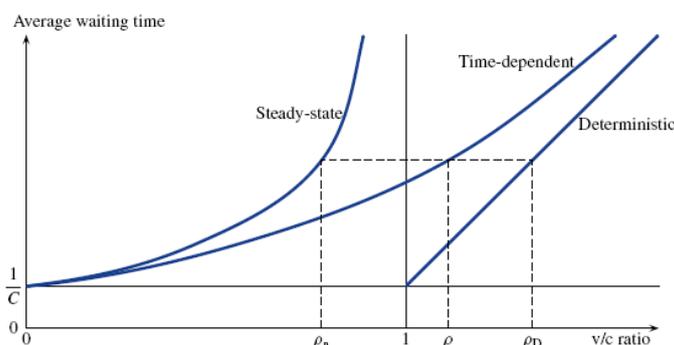


Figura 10 – Metodo di trasformazione delle coordinate (Luttinen R. T. 2004)

Per ognuna delle manovre sovrassature si è proceduto alla costruzione dei diagrammi cumulati di domanda e capacità, tramite i quali sono stati determinati i valori sperimentali del tempo di analisi T , della domanda D e della capacità C . In figura 11 sono riportati i diagrammi relativi alla manovra 3-2 nel caso dell'intersezione 1.

Lo studio sulle condizioni di funzionalità ha, in ultima analisi, evidenziato che l'intervento di riqualificazione implica un generale miglioramento delle condizioni di circolazione: dalla tabella 9 si evince, infatti, che quasi tutte le manovre, nell'ipotesi di realizzazione dell'intervento, registrano un innalzamento dei LdS. Inoltre, è opportuno evidenziare che la sistemazione prevista è capace di produrre un miglioramento anche

per le manovre risultanti in condizioni di sovrasaturazione, consentendo, per di più, la definitiva eliminazione del problema nel caso dell'intersezione 2.

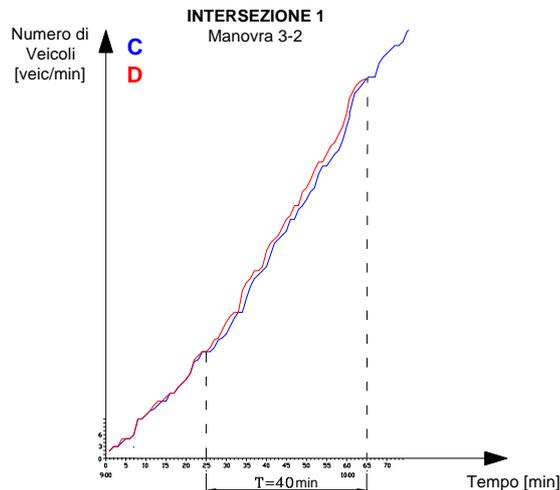


Figura 11 – Diagrammi cumulati di domanda e capacità

7. CONCLUSIONI

In Italia le statistiche sull'incidentalità stradale evidenziano un'elevata concentrazione di sinistri in corrispondenza dei nodi urbani.

L'approfondimento delle problematiche di sicurezza stradale in ambito urbano, con particolare riferimento ai punti singoli costituiti dalle intersezioni, rappresenta, quindi, uno dei più importanti obiettivi verso cui indirizzare l'attenzione dell'ingegnere specialista al fine di ridurre l'incidentalità.

Lo studio condotto nel presente lavoro ha permesso di evidenziare come la metodologia del Safety Review sia particolarmente indicata in tutti quei casi in cui non si disponga di dati statistici sull'incidentalità del sito; l'applicazione della procedura al caso studio ha consentito di individuare i fattori di potenziale pericolosità legati all'esercizio del sistema ed ha permesso, quindi, di definire interventi progettuali capaci di migliorare le condizioni di sicurezza della circolazione.

Nel contempo, lo studio di riqualificazione ha consentito di ottenere una soluzione progettuale, non solo migliore dal punto di vista della sicurezza, ma anche più efficiente sotto il profilo della funzionalità: l'introduzione di corsie specializzate ha infatti determinato, in linea generale, un sostanziale miglioramento dei livelli di servizio attesi per la maggior parte delle manovre, consentendo inoltre di migliorare, e nel caso dell'intersezione 2 di risolvere, i problemi di sovrasaturazione a cui attualmente sono soggette alcune manovre.

L'opportunità di effettuare in modo organico e sistematico una campagna di rilevamento delle grandezze di traffico salienti, ha consentito di operare calcoli e decisioni basandosi su dati reali, che altrove non sono sempre disponibili.

La breve distanza intercorrente tra i nodi studiati ha imposto, infine, la necessità di effettuare un'analisi integrata del sito, in modo da definire una "soluzione di sistema" in grado di coordinare gli elementi compositivi necessari alla riqualificazione di ogni singola intersezione.

BIBLIOGRAFIA

- Canale S., Leonardi S., Pappalardo G. (2002a) – *“Sicurezza in ambito urbano: il ruolo delle intersezioni stradali”* – Le Strade, n. 7-8, pp. 68-72.
- Canale S., Leonardi S., Pappalardo G. (2002b) – *“Riqualificazione funzionale delle intersezioni a raso. Proposta di nuovi criteri progettuali”* – XII Convegno SIIV, 30-31 ottobre, Parma, Italia.
- Canale S., Distefano N., Leonardi S., Pappalardo G. (2006) – *“Progettare le intersezioni”* – EPC Libri, Roma.
- Crisafulli M., Leonardi S. (2005) – *“Safety Review per incroci in ambito urbano”*. Le Strade n. 5, pp. 124-130.
- Da Rios G., Rinelli S. (2000) – *“Contributo all'analisi sistemica dei fattori di rischio nelle intersezioni stradali”* – X Convegno Nazionale S.I.I.V, 26-28 ottobre, Catania, Italia.
- Giannattasio P., Domenichini L., Giuffrè O., Montella A., Granà A., Grossi J. (2001) – *“Linee guida per le analisi di sicurezza delle strade”* – Circolazione & Sicurezza Stradale, n.3, pp. 36-41.
- Luttinen R. T. (2004) – *“Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections”* – Finnish Road Administration, Helsinki.
- Ministero LL.PP (2001) – *“Studio per la redazione delle linee guida per la realizzazione di un sistema di controllo preventivo della sicurezza stradale. Analisi delle esperienze internazionali”* – Roma.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2001) – *“Studio a carattere prenormativo. Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali”* – Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale. Roma.
- Transportation Research Board (1975) – *“Traffic Flow Theory”* – Special Report 165.
- Transportation Research Board (2000) – *“Highway Capacity Manual (HCM2000)”* – National Research Council. Washington.
- Fonte ISTAT – www.istat.it.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare l'Ing. A. Catalano, Dirigente del Dipartimento Tecnico Patrimoniale dell'Università degli Studi di Palermo, per il prezioso supporto fornito al presente lavoro e la Dott.ssa C. M. Maggiore per l'instancabile collaborazione alle attività di rilievo sperimentale.