



Università degli Studi di Trieste

*Un modello per la
valutazione delle prestazioni
di intersezioni complesse
semaforizzate*



Università degli Studi di Trieste

*Modello per la valutazione delle
prestazioni di intersezioni complesse*

introduzione

il modello

applicazioni

conclusioni

Introduzione e stato dell'arte



Prestazioni delle intersezioni - 1

Elementi:

Coefficiente di saturazione X : rapporto tra il flusso che interessa una data sezione e la sua capacità

Rapporto di flusso Y : rapporto tra il tasso medio di arrivi ed il flusso di saturazione

Ritardo: differenza tra il tempo che il veicolo impiega per attraversare l'intersezione e il tempo che lo stesso impiegerebbe a percorrere il tratto di strada in assenza dell'intersezione

Coda: lunghezza del tratto di carreggiata a monte di un attestamento occupata da veicoli in attesa di attraversarlo



Prestazioni delle intersezioni - 2

Criteri di progettazione:

Ritardo $\Rightarrow$ Livello di Servizio

Formazione delle code $\Rightarrow$ Spill-back

Numero di arresti

Capacità dell'intersezione



Classificazione dei modelli per le intersezioni - 1

sulla base dello stato delle intersezioni

per intersezioni in regime di sovrasaturazione

⇒ per intersezioni in regime di sottosaturazione

sulla base del livello di aggregazione del flusso:

microscopici



mesoscopici

macroscopici



Classificazione dei modelli per le intersezioni - 2

sulla base della gestione del tempo

continui



discreti

sulla base del campo di applicazione:

per intersezioni semplici



per intersezioni complesse

per reti estese



Modelli per le intersezioni semplici

Valutazione basata sostanzialmente su

tempi di attesa

capacità

Esempi di modelli utilizzati:

modello di Webster (rilevanza storica)

modello HCM (molto diffuso) $\implies$ “Livello di servizio”



Modelli per le reti semaforizzate

Diversi campi di applicazione

arterie

reti estese

Esempi di modelli utilizzati:

modelli Maxband e Multiband

modello TRANSYT



Modelli per intersezioni complesse

Carenza di modelli in letteratura

utilizzo modelli per reti

sviluppo di modelli *ad hoc*

Un modello esistente è stato sviluppato da Camus,
D'Amore, Ukovich (non comprende la valutazione)

...sviluppo di un modello per questa tipologia di
intersezioni



Le intersezioni complesse

Insieme di nodi elementari collocati a breve distanza
problematica delle code critiche (spill back)

Definizione di vari segnali

segnali di ingresso

segnali di uscita

segnali interni

Esiste almeno un segnale di uscita che non è un segnale
di ingresso (e viceversa)



Caratteristiche delle intersezioni complesse

- 1

Area caratterizzata da diverse entrate e uscite

Si possono identificare vari flussi, di cui almeno uno
attraversa due o più segnali consecutivi

I flussi affrontano generalmente più di un segnale
un segnale può controllare più flussi con diverse
provenienze e destinazioni

molte aree di conflitto impegnate da più flussi



Caratteristiche delle intersezioni complesse

- 2

Le peculiarità di tali intersezioni consigliano l'utilizzo di modelli specifici:

I modelli per le intersezioni semplici non consentono di rappresentare compiutamente i fenomeni che si sviluppano (interazioni tra i nodi elementari non sono considerati)

I modelli per le reti possono essere poco adatti:

è possibile trascurare i fenomeni di dispersione

è necessaria una conoscenza approfondita delle manovre e del comportamento dei flussi



Università degli Studi di Trieste

Modello per la valutazione delle
prestazioni di intersezioni complesse

introduzione

il modello

applicazioni

conclusioni

Il modello proposto per le intersezioni complesse



Caratteristiche del modello

Il modello è di tipo mesoscopico e discreto

Impostazione della valutazione (ritardi e code)

flussi di saturazione

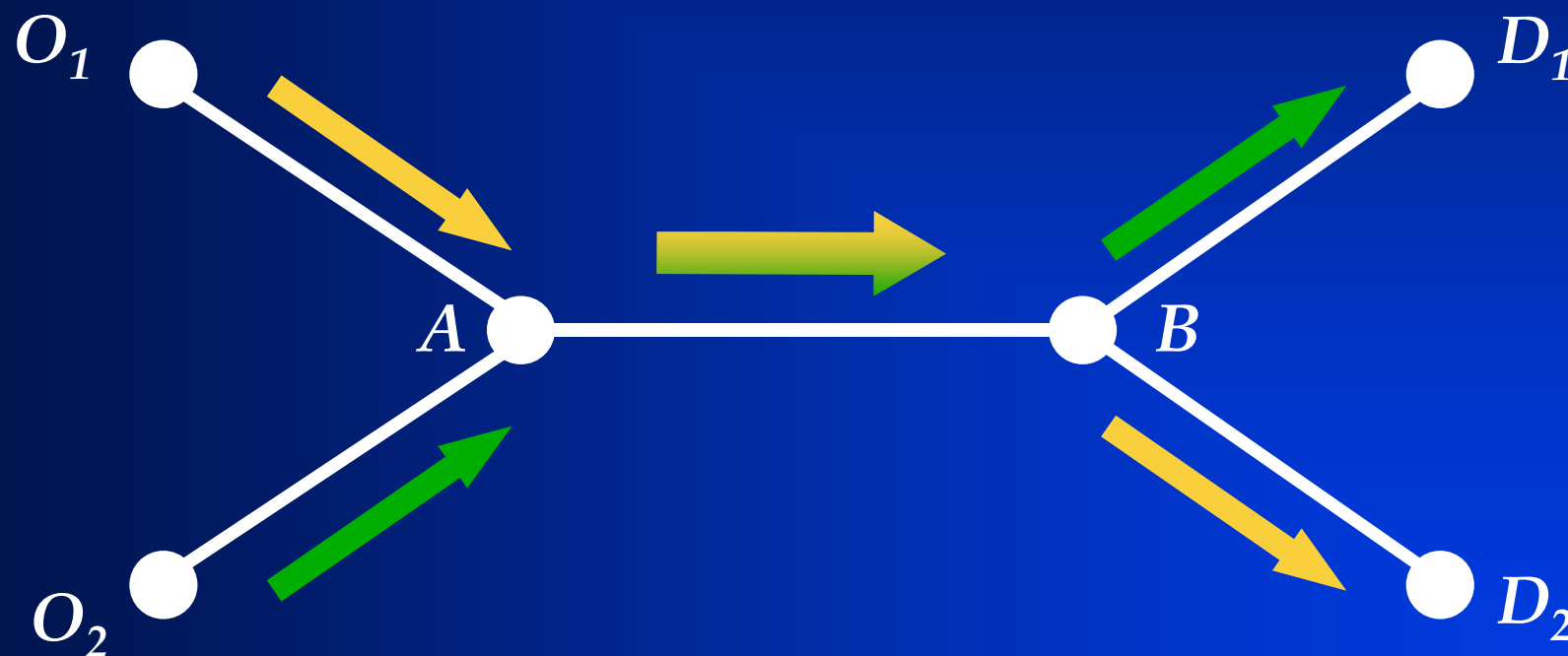
tempi di verde

caratteristiche dei flussi e dei percorsi di attraversamento

Il modello è in grado di “seguire” i plotoni lungo il nodo
per un calcolo efficace di code e ritardi



Problema della doppia Y





Ipotesi - 1

sul piano semaforico

tempi di verde efficace

nodi elementari tutti semaforizzati a ciclo comune

sul valore dei flussi di calcolo

flussi costanti nel periodo di calcolo

flussi espressi in autovetture equivalenti AE (o PCU)

sul movimento dei veicoli

plotoni rigidi

moto subito a regime ed indisturbato fino alla linea di arresto



Ipotesi - 2

Il calcolo del ritardo

quota uniforme

è determinata con precisione dal modello

quota deterministica di sovrasaturazione

si possono utilizzare altre metodologie. Tale frazione del ritardo rimane comunque confinata sugli accessi al nodo complesso

quota stocastica

utilizzo delle metodologie esistenti (veicoli che accidentalmente non superano la linea di arresto durante il verde)



Dati necessari e notazioni - 1

Dati relativi al piano semaforico

C , durata del ciclo semaforico;

K , insieme dei segnali del nodo complesso;

$O \subset K$, insieme dei segnali di ingresso (origini);

s_k , flusso di saturazione del segnale $k \in K$;

gs_k e ge_k , istanti di inizio e di fine del verde efficace $k \in K$;

v , velocità media di percorrenza degli archi della rete;

Dati relativi alla geometria dell'intersezione

T , matrice topologica della rete: t_{ij} = lunghezza dell'arco (i,j) con $i,j \in K$

Dati relativi al movimento dei flussi

R , matrice di ripartizione dei flussi: r_{oj} = frazione del flusso f_o diretta al segnale j , con $o \in O$ e $j \in (K-O)$;



Dati necessari e notazioni - 2

Definizione del plotone

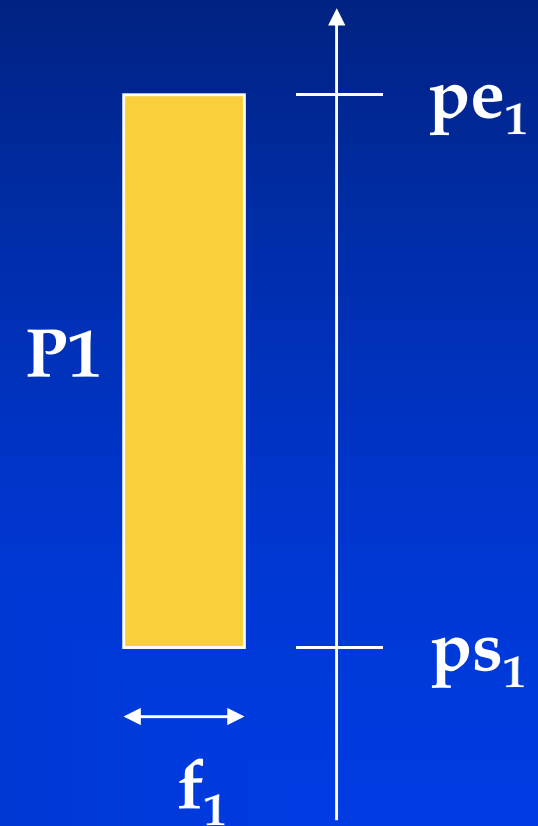
unità elementare di traffico

individuato attraverso tre elementi

$ps_i(k)$, istante in cui il primo veicolo del
plotone i raggiunge la sezione k

$pe_i(k)$, istante in cui l'ultimo veicolo del
plotone i raggiunge la sezione k

$f_i(k)$, intensità del flusso del plotone i
considerata costante nell'intervallo
 (ps_i, pe_i)



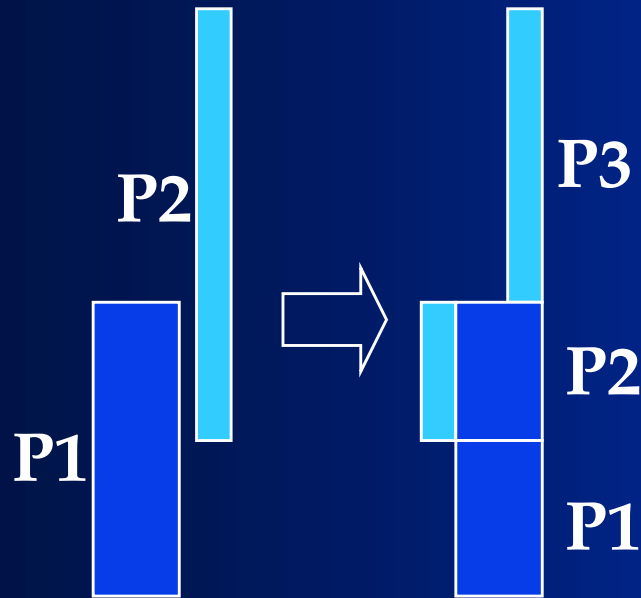


Schema dell'algoritmo





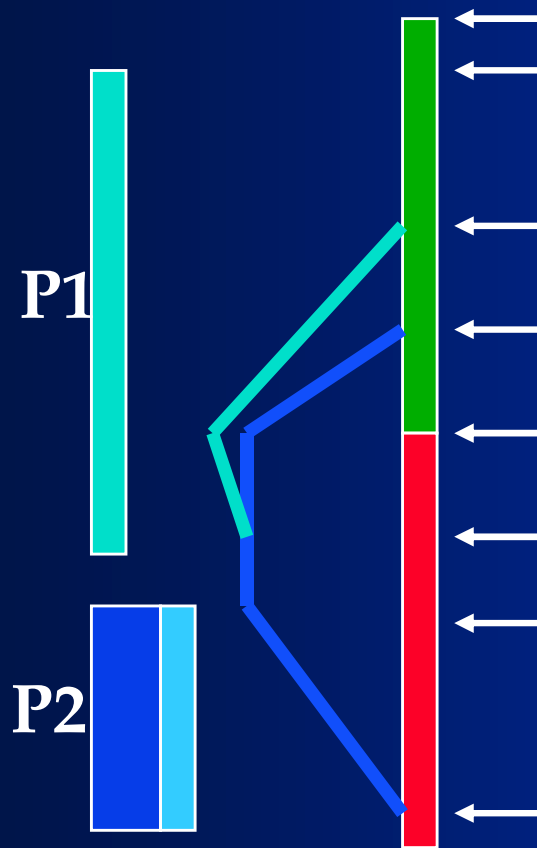
Analisi Segnale (1) - Plotoni in arrivo



- ✓ Ricerca dei plotoni in arrivo
 - ◆ individuazione della frazione diretta al segnale in esame (matrice R)
 - ◆ traslazione del plotone (matrice T)
- ✓ Individuazione di eventuali plotoni compositi
 - ◆ creazione dei nuovi plotoni
- ✓ Individuazione di eventuali plotoni "a cavallo" di ge_k
 - ◆ creazione dei nuovi plotoni
- ✓ Ordinamento dei plotoni su ps_i



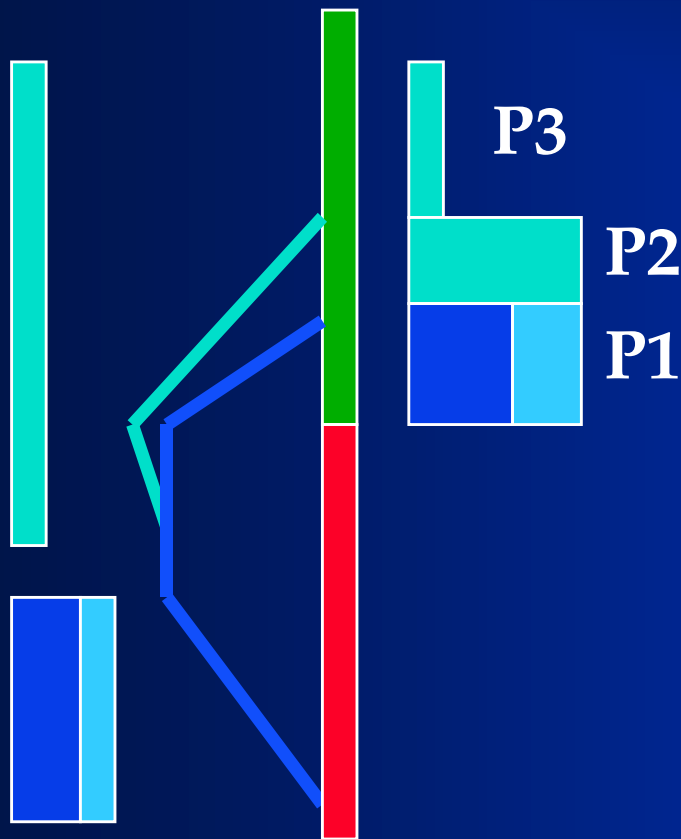
Analisi Segnale (2) - Valutazione di code e ritardi



- ✓ Traslazione temporale: $ge_k = C$
- ✓ Determinazione dei profili (code)
 - ◆ individuazione degli "eventi" ←
 - ◆ costruzione del profilo per ogni plotone
 - ◆ verifica dello smaltimento della coda a fine verde ed eventuale nuovo ciclo
- ✓ Valutazione delle prestazioni
 - ◆ il ritardo è individuato dall'area sottesa dal profilo di ciascun plotone
 - ◆ la coda massima è definita dal massimo valore della somma dei profili



Analisi Segnale (3) - Plotoni in uscita



- ✓ Determinazione delle caratteristiche dei plotoni in uscita:
 - ◆ calcolo di ps_i e pe_i
 - ◆ determinazione di f_i (per ogni origine):
 - $f_i = s_k$ in presenza di coda
 - $f_i = f_e$ altrimenti ($e = entrante$)
- ✓ Memorizzazione delle prestazioni:
 - ◆ attribuzione del ritardo ad ogni plotone uscente nella frazione di competenza
 - ◆ registrazione dei dati necessari a definire la coda formata da ogni plotone in arrivo



Risultati

Per ogni attestamento:

valutazione dei ritardi e delle code di ogni plotone

ritardo totale, lunghezza e sviluppo della coda

Per ogni plotone in uscita dal nodo complesso:

composizione

ritardi subiti nell'attraversamento del nodo

Valutazione del Livello di Servizio:

attestamenti, provenienze, coppie O/D, nodo



Università degli Studi di Trieste

*Modello per la valutazione delle
prestazioni di intersezioni complesse*

introduzione

il modello

applicazioni

conclusioni

Applicazioni e confronti



Validazione e confronto con altri approcci

Confronti con altri modelli (HCM, Transyt) attraverso
l'applicazione a casi reali:

Piazza Verdi (BZ)

Piazzale Maggi (MI)

Porta Saragozza (BO)

Valutazione dei vantaggi offerti dal modello proposto
nella valutazione delle prestazioni di intersezioni
complesse



Caratteristiche del modello TRANSYT

Elemento base: intervallo temporale elementare

Comportamento dei veicoli in base a tre profili

IN, OUT, GO

Formula di dispersione dei plotoni lungo gli archi

Suddivisione del ritardo in tre componenti

Uniform, Oversaturation, Random



Limiti del modello TRANSYT

Principali limiti:

Perdita di informazioni sulla provenienza dei plotoni

Non risolve il problema della doppia Y

Conseguenze:

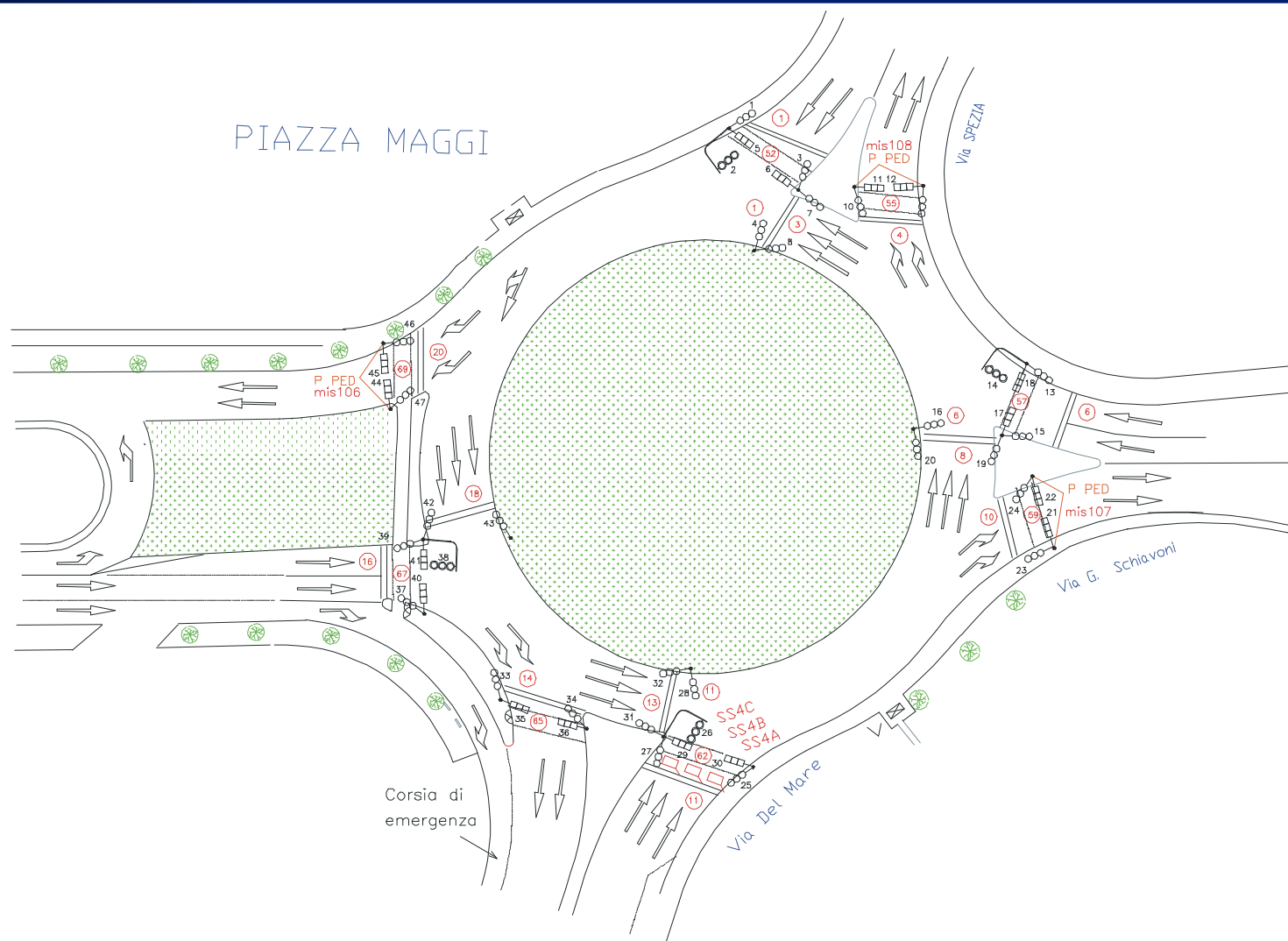
errori nella distribuzione dei flussi

impossibilità di valutare il livello di servizio

impossibilità di valutare i ritardi suddivisi per O/D e di
disaggregare i plotoni in base agli eventi a parità di O/D



Applicazione: Piazzale Maggi (MI)





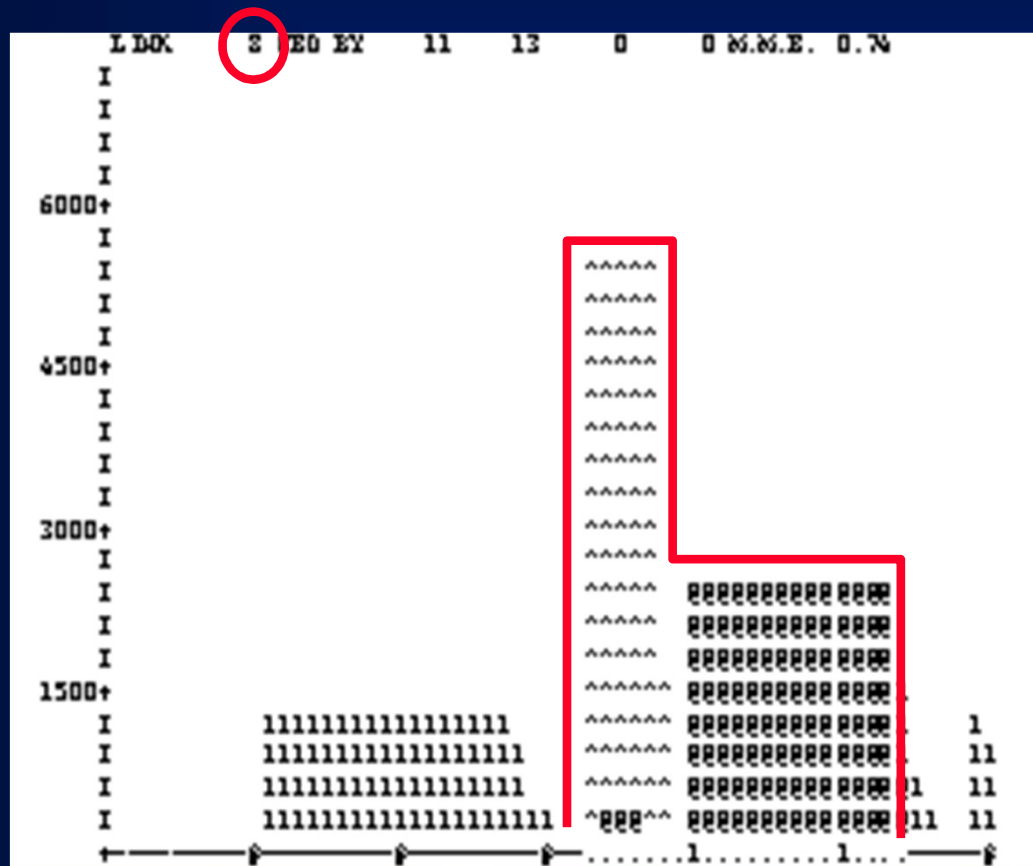
Input

PIANO [secondi] E FLUSSI [pcu/h]								
Segnale		Inizio Verde		Fine Verde		Flussi d'ingresso		Saturazione
1		54		82		900		3600
3		86		50		0		5400
4		16		86		0		3600
6		84		44		1800		3600
8		48		80		0		5400
10		73		52		0		3600
11		51		76		900		3600
13		80		47		0		5400
14		34		1		0		3600
16		3		33		1100		3600
18		37		89		0		5400
20		80		59		0		3600
MATRICE DELLA RETE [metri]								
	3	4	8	10	13	14	18	20
1	0	0	0	0	0	0	92	78
3	0	0	0	0	0	0	92	78
6	57	47	0	0	0	0	0	0
8	57	47	0	0	0	0	0	0
11	0	0	82	72	0	0	0	0
13	0	0	82	72	0	0	0	0
16	0	0	0	0	52	42	0	0
18	0	0	0	0	52	42	0	0
MATRICE DI RIPARTIZIONE DEI FLUSSI [%]								
	3	4	8	10	13	14	18	20
1	0	0	0	20	20	40	60	40
6	80	20	0	0	0	30	30	50
11	30	40	70	30	0	5	5	25
16	0	40	40	60	100	0	0	0



Risultati: modello proposto e Transyt

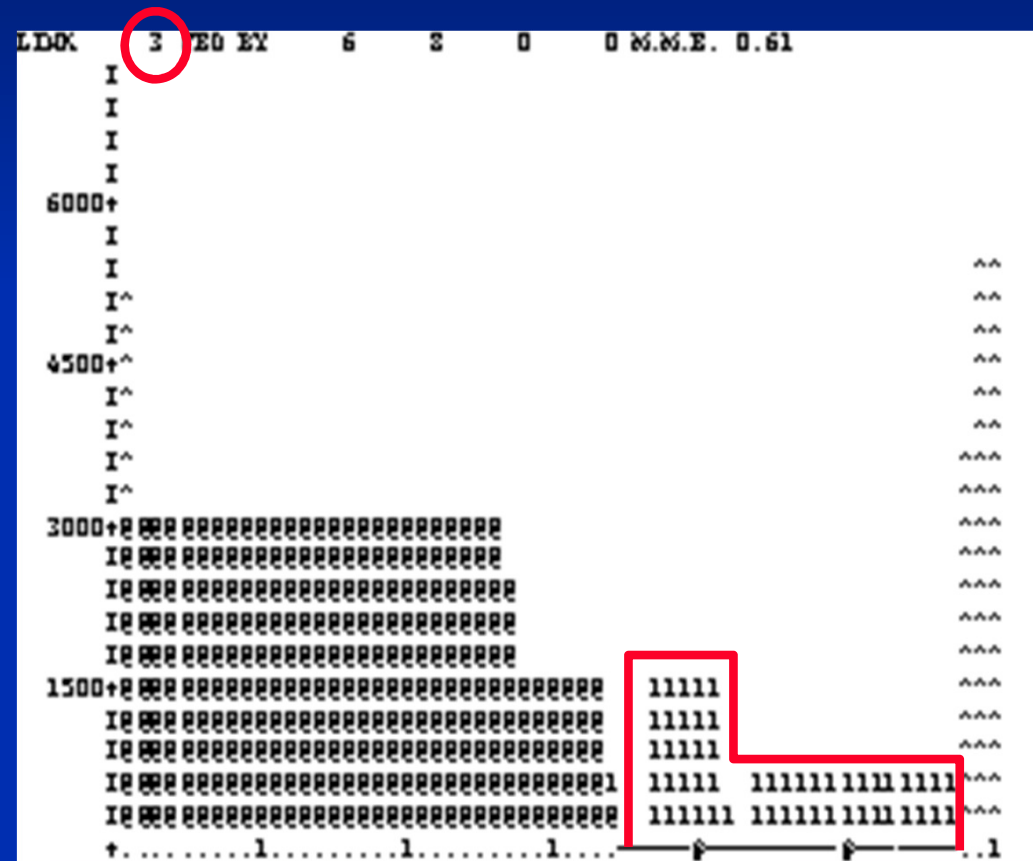
	MODELLO PROPOSTO					TRANSYT		DIFFERENZE	
Segnale	Rit/C [sec]	Rit/h [sec]	Veic/C	Veic/h	Rit/Veic [sec]	PCU- H/H	Rit/Veic [sec]	Diff. [sec]	Diff %
1	641	25627	22	900	28,47	7,1	28,40	-0,07	0
3	99	3951	43	1710	2,31	1,6	3,37	1,06	46
4	58	2308	29	1160	1,99	0,5	1,55	-0,44	-22
6	800	32000	45	1800	17,78	8,9	17,80	0,02	0
8	313	12504	27	1070	11,69	3,6	12,11	0,43	4
10	48	1929	28	1110	1,74	0,6	1,95	0,21	12
11	704	28167	22	900	31,30	7,8	31,20	-0,10	0
13	16	621	32	1280	0,49	0,4	1,12	0,64	132
14	34	1373	24	945	1,45	0,2	0,76	-0,69	-48
16	792	31680	28	1100	28,80	8,8	28,80	0,00	0
18	204	8175	28	1125	7,27	2,6	8,32	1,05	14
20	106	4230	37	1485	2,85	1,2	2,91	0,06	2



Provenienza 16

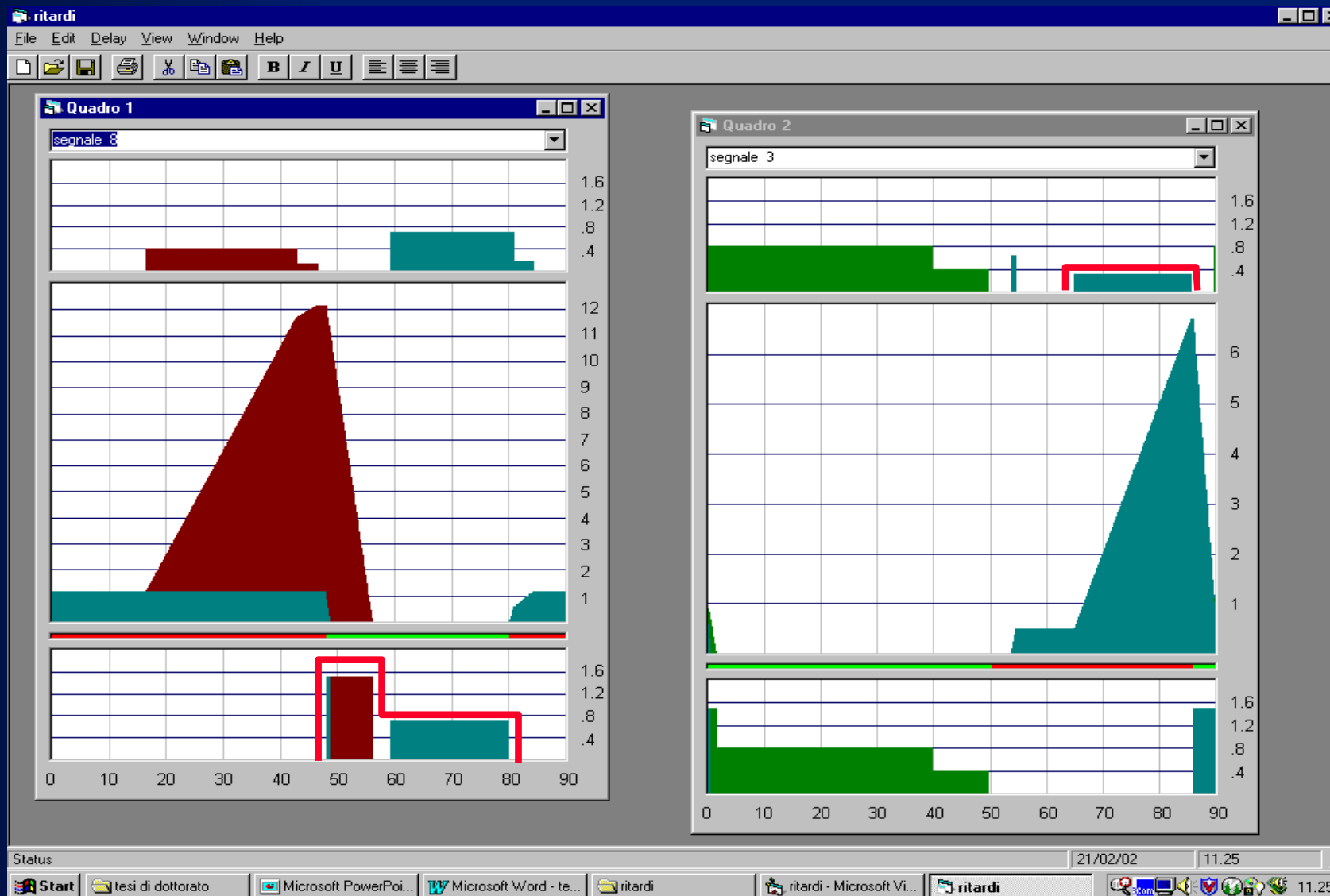
Provenienza 11

Errori nel TRANSYT





Soluzione del modello





Calcolo del livello di servizio

RITARDI E LOS PER COPPIE O/D					
Orig	Dest	Rit	Veic	Rit/Veic	LOS
1	10	149	5	33	C
1	14	271	9	30	C
1	20	357	9	39	D
6	4	197	9	21	C
6	14	426	14	31	C
6	20	402	23	17	B
11	4	320	9	35	C
11	10	258	7	38	D
11	14	91	1	80	E
11	20	285	6	50	D
16	4	582	11	52	D
16	10	475	17	28	C
RITARDI E LOS PER ACCESSO					
Orig		Rit	Veic	Rit/Veic	LOS
1		778	23	34	C
6		1025	45	22	C
11		954	23	42	D
16		1057	28	38	D
INTERSEZIONE COMPLESSA					
		Rit	Veic	Rit/Veic	LOS
Tot		3814	118	32	C



Validazione del modello

Confronto del modello con il TRANSYT in una
situazione priva degli errori precedentemente
evidenziati

Applicazione a Piazzale Maggi a flussi “bilanciati”:
creazione di una ripartizione fittizia dei flussi

Nuova matrice D di ripartizione dei flussi:

MATRICE DI RIPARTIZIONE DEI FLUSSI [%]								
	3	4	8	10	13	14	18	20
1	0	0	0	0	0	44	44	56
6	44	56	0	0	0	33	33	11
11	44	22	66	34	0	33	33	11
16	0	0	0	73	73	27	0	0



Verifica dei risultati

	MODELLO PROPOSTO					TRANSYT		DIFFERENZE	
Segnale	Rit/C [sec]	Rit/h [sec]	Veic/C	Veic/h	Rit/Veic [sec]	PCU-H/H	Rit/Veic [sec]	Diff. [sec]	Diff %
1	641	25627	22	900	28,47	7,1	28,40	-0,07	0
3	157	6284	30	1188	5,29	1,8	5,45	0,17	3
4	190	7618	30	1206	6,32	2,1	6,27	-0,05	-1
6	800	32000	45	1800	17,78	8,9	17,80	0,02	0
8	64	2554	15	594	4,30	0,5	3,03	-1,27	-30
10	56	2255	28	1109	2,03	0,6	1,95	-0,09	-4
11	704	28167	22	900	31,30	7,8	31,20	-0,10	0
13	0	0	20	803	0,00	0,0	0,00	0,00	
14	224	8970	40	1584	5,66	2,5	5,68	0,02	0
16	792	31680	28	1100	28,80	8,8	28,80	0,00	0
18	471	18841	32	1287	14,64	5,3	14,83	0,19	1
20	164	6565	20	801	8,20	1,8	8,09	-0,11	-1

Segnale	Numero STEP	PCU-H/H	Rit/Veic [sec]	Diff. [sec]	Diff %
8	60	0,50	3,0	-1,3	-30
8	52	0,90	5,5	1,2	27
8	51	1,00	6,1	1,8	41
8	45	1	3,6	-0,7	-15

Errore dovuto alla
discretizzazione del
TRANSYT (step)



Università degli Studi di Trieste

*Modello per la valutazione delle
prestazioni di intersezioni complesse*

introduzione

il modello

applicazioni

conclusioni

Conclusioni



Conclusioni - 1

Carenze modellistiche per la valutazione delle
intersezioni complesse

Strumenti esistenti spesso inadeguati

HCM

Transyt

Microsimulatori

Creazione di un modello specifico



Conclusioni - 2

Vantaggi del modello:

utilizzo dei dati “classici” per la valutazione delle
intersezioni

valutazione dettagliata di code e ritardi sugli attestamenti

analisi dei ritardi distinti per coppia O/D e della “storia”
dei plotoni a parità di O/D

livello di servizio

riduzione del nodo complesso:
intersezione elementare equivalente
(confronto modello HCM)