



**DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA CIVILE PER  
L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO**  
XIV Ciclo - Nuova Serie (2013-2015)  
**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO**

**METAHEURISTIC APPROACHES  
FOR COMPLETE NETWORK SIGNAL SETTING DESIGN  
(CNSSD)**

**Approcci metaeuristici  
per la progettazione completa di reti di intersezioni semaforizzate**

**CANDIDATO: ING. SILVIO MEMOLI**

Relatore:  
PROF. ING. G. E. CANTARELLA

Coordinatore:  
PROF. ING. V. BELGIORNO

Correlatore:  
PROF. ING. S. DE LUCA

## **ABSTRACT**

Al fine di mitigare la congestione del traffico ed incrementare l'utilità degli utenti dei sistemi di trasporto è possibile applicare diverse politiche, sul breve o sul lungo periodo. In riferimento alle politiche di breve termine, la più utilizzata è quella che riguarda il controllo delle intersezioni a livello locale o di rete attraverso l'utilizzo di impianti semaforici. Il principale obiettivo del controllo del traffico tramite semaforizzazione consiste nel garantire che accessi non compatibili possano presentare verde nello stesso intervallo di tempo, a supporto del rispetto delle condizioni di sicurezza dell'incrocio.

Le metodologie esistenti per la progettazione semaforica possono essere divise in due classi principali, come descritto nel seguito.

I metodi del tipo *basati sugli accessi (approach-based)* consentono di definire i parametri di regolazione mediante un problema di *scheduling*: la durata del ciclo, e per ogni accesso l'istante d'inizio e di fine del verde, rappresentano le variabili decisionali; alcune variabili binarie (ovvero vincoli non lineari) vengono inoltre utilizzati per evitare che accessi incompatibili presentino verde nello stesso intervallo di tempo. Se richiesta, la composizione delle fasi e la sequenza delle stesse può essere ottenuta in modo agevole a partire dalle variabili decisionali utilizzate per la procedura di ottimizzazione.

I diversi software commerciali che utilizzano tale tipo di metodologia possono essere utilizzati solo per l'applicazione ad un controllo di singola intersezione, (Oscady PRO®, TRL, UK). A livello di rete, quindi, solo a seguito della definizione delle durate dei verdi e la successione delle fasi per ogni singola intersezione, è possibile ottimizzare gli sfasamenti (*coordinamento*) utilizzando le matrici delle fasi ottenute per le varie intersezioni.

I metodi del tipo *basati sulle fasi (stage-based)* consentono di definire i parametri di regolazione semaforica utilizzando come variabili decisionali le fasi, intervallo di tempo durante il quale gli accessi mutuamente compatibili presentano verde. La composizione delle fasi, ossia quale accesso ha verde nel relativo intervallo di tempo, e la sequenza delle fasi, ossia l'ordine di successione delle stesse, possono essere rappresentate dalla matrice di incidenza accesso-fase, o matrice delle fasi. A livello di rete, una volta nota la matrice delle fasi per ogni intersezione, è possibile ottimizzare la durata del ciclo, la durata dei verdi e gli sfasamenti (*sincronizzazione*) attraverso alcuni software commerciali consolidati in letteratura come ad esempio : TRANSYT14® (TRL, UK) (recentemente aggiornato nella versione TRANSYT16®) e TRANSYT-7F® (FHWA, USA). Entrambi tali strumenti permettono di calcolare le durate dei verdi, degli sfasamenti e la durata del ciclo combinando un modello di traffico ed un modulo di ottimizzazione. Entrambi possono essere utilizzati per effettuare il coordinamento (ottimizzazione dei soli sfasamenti, una volta note le durate dei verdi) o la sincronizzazione (ottimizzazione simultanea delle durate dei verdi e degli sfasamenti). TRANSYT14® genera diverse (ma non tutte) sequenze significative delle fasi. La sequenza ottima non viene fornita quindi in maniera implicita ma viene ottenuta

attraverso una valutazione esplicita iterativa delle sequenze fornite dallo strumento. TRANSYT-7F® consente di ottimizzare la sequenza delle fasi per ogni singola intersezione, sfruttando il metodo *ring and barrier phases* della NEMA (National Electrical Manufacturers Association) ma non consente di ottenere come output di elaborazione la matrice delle fasi. L'ottimizzazione della combinazione delle sequenze di fasi ottime delle varie intersezioni che compongono la rete e l'effetto che tale combinazione induce sulle prestazioni della rete stessa restano, invece, un problema ancora non sviluppato in letteratura.

Entrambe le metodologie descritte sopra condividono un tipo di ottimizzazione a struttura *2-step*: le variabili decisionali vengono inizialmente raggruppate in due insiemi, quindi ottimizzate in due passaggi sequenziali. Allo stato attuale nessun metodo di ottimizzazione del tipo *1-step* con simultanea ottimizzazione delle durate dei verdi, la loro successione, e gli sfasamenti tra le intersezioni (il cosiddetto metodo di *scheduled synchronization*) risulta sviluppato in letteratura.

I principali risultati del presente lavoro di ricerca sono rappresentati: dallo sviluppo di un metodo di ottimizzazione *1-step* a livello di rete, con ottimizzazione simultanea di verdi, successione dei verdi e sfasamenti; dallo sviluppo di un modello di traffico innovativo che consente di determinare l'andamento dei flussi e di conseguenza dei ritardi all'interno della rete tenendo conto contemporaneamente sia dell'effetto di propagazione delle code sia della dispersione dei platon di veicoli.

Formalmente i metodi esistenti del tipo *basati sugli accessi* per la progettazione dei parametri semaforici di singola intersezione possono essere facilmente estesi a livello di rete per l'implementazione di una strategia del tipo *1-step*. Tuttavia il problema, in termini operativi risulta difficile da risolvere in quanto presenta diversi punti di ottimo locale; tale limitazione (in termini di ottimizzazione globale) può essere facilmente superata nel caso di singola intersezione, mentre risulta ancora abbastanza incerto come possa essere aggirata nel caso di reti di intersezioni magliate (con circuiti interni).

I metodi di ottimizzazione del tipo *basati sulle fasi* possono essere utilizzati per l'implementazione di strategie di ottimizzazione di rete *1-step* considerando esplicitamente sia la composizione delle fasi e la relativa sequenza come variabili decisionali. I metodi risultanti da tale tipo di approccio sono più semplici di quelli che possono essere derivati dai metodi del tipo *basati sugli accessi* ma non consentono di ottenere la soluzione ottima nel caso più generale.

Il prodotto finale del presente lavoro di ricerca si basa sulla implementazione di un *framework* metodologico di ottimizzazione *1-step basato sulle fasi* che consente, attraverso lo sviluppo di un algoritmo di ottimizzazione meta euristico, di ottenere soluzioni ottime approssimate con scarti soddisfacenti rispetto alla soluzione di ottimo globale al problema di progettazione di rete di intersezioni semaforizzate.